

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) – 27.03.04 «Управление в технических системах»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование частотно-временной корреляционной функции в задачах обнаружения утечек

УДК 519.233:621.643.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Шишло Артем Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Аврамчук Валерий Степанович	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Наталия Вячеславовна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Николай Архипович	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Пушкарев Максим Иванович	к.т.н.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания для комплексной инженерной деятельности по созданию, внедрению и эксплуатации геоинформационных систем и технологий, а также информационных систем и технологий в бизнесе.
P2	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с созданием геоинформационных систем и технологий, информационных систем в бизнесе, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей.
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по созданию информационных систем и технологий, а также средств их реализации (информационных, методических, математических, алгоритмических, технических и программных).
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных, в области создания геоинформационных систем и технологий, а также информационных систем и технологий в бизнесе.
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные геоинформационные системы и технологии, информационные системы и технологии в бизнесе, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасность труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом. Владеть иностранным языком (углублённый английский язык), позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций,
P10	Демонстрировать личную ответственность за результаты работы и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, а также готовность к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) - 27.03.04 «Управление в технических системах»  
Уровень образования магистратура  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
Период выполнения - осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	
	Обязательное приложение на иностранном языке	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Аврамчук Валерий Степанович	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пушкарёв Максим Иванович	к.т.н.		

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) – 27.03.04 «Управление в технических системах»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Пушкарёв М.И.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Шишло Артему Владимировичу

Тема работы:

Исследование частотно-временной корреляционной функции в задачах обнаружения  
утечек

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

## Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1. Способ частично-временного корреляционного анализа (патент РФ, №2405163);
2. Способ определения наличия гармонических составляющих и их частот в дискретных сигналах (патент РФ, №2498324);
3. Математический пакет PTCMathcad 14 F000 (русская версия).
4. Виброакустические сигналы датчиков, снятые при обследовании трубопровода водоснабжения компанией ООО «Томскводоканал» (в форме wav-файла, 2 канала, длительность 10 с).
5. Математический пакет ППП Matlabr2015b (русская версия)

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. <i>Исследование частотно-временной корреляционной функции.</i> 2. <i>Исследование влияния оконных функции на частотно-временную корреляционную функцию и на результаты измерения.</i> 3. <i>Исследование влияния изменения ширины частотных интервалов.</i> 4. <i>Исследование воздействия ширины оконной функции на результаты измерения</i> 5. <i>Перевод на английский язык раздела, исследования частотно-временной корреляционной функций</i>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Алексеев Николай Архипович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Скаковская Наталия Вячеславовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Исследование частотно-временной корреляционной функции в задачах обнаружения утечек	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОАР ИШИТР	Аврамчук Валерий Степанович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8AM71	Шишло Артем Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
8AM71		Шишло Артему Владимировичу	
<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы(НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		1. Цена аппаратуры для вычисления 99783 руб.; Цена платы расширения 43384 руб. Тариф на электроэнергию 685,58 руб.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов		2. Специальное научное оборудование 226051,07 руб.; Норма амортизации 10%. 30% премии; 20% надбавки; 13,5% дополнительная заработная плата; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент.	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования		3. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 27,1%	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)		1. Анализ конкурентных технических решений	
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР		2. Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта	
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР		3. Определение затрат на проектирование	
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)		4. Определение капиталовложений в тепловую сеть	
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков		5. Определение эксплуатационных затрат; расчет интегрального показателя ресурсоэффективности	
<b>Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):</b>			
1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 2. Календарный план-график проведения работ по проектированию тепловой сети 3. Матрица SWOT 4. График проведения и бюджет НТИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ			
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>			

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Н.В.	к.ф.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Шишло Артем Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«Социальная ответственность»**

Студенту:

<b>Группа</b> 8AM71		<b>ФИО</b> Шишло Артему Владимировичу	
<b>Школа</b>	ИШИТР	<b>Отделение школы(НОЦ)</b>	<b>Автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	<b>15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств</b>
<b>Задание</b>			
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>		<p>1. Ноксологический анализ инновационных решений по теме диссертации на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>вредных</b> проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др.);</li> <li>– <b>опасных</b> проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной, взрывной и другой природы);</li> <li>– <b>негативного</b> воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу);</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul> <p>2. Компетентностный обзор законодательных и нормативных документов по теме</p>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>		<p>1. Анализ выявленных <b>вредных</b> факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа фактора, его связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>2. Анализ выявленных <b>опасных</b> факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul> <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной и других зон окружающей среды;</li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul> <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<b>Производственная безопасность:</b>	<p>Выявленные вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нарушение параметров микроклимата</li> <li>– повышение шума</li> <li>– недостаточное освещение</li> <li>– электромагнитные излучения</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <p>опасность поражения электрическим током</p>
<b>Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС;</li> </ul> <p>разработка решений по обеспечению экологической безопасности</p>
<b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Николай Архипович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Шишло Артем Владимирович		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит (без учета разделов в приложениях) 81 страниц, 42 рисунков, 28 таблиц, 3 приложения. Использовано 28 источников.

Ключевые слова: корреляционный анализ, частотно-временной корреляционный анализ, обнаружение утечек, корреляторы, вибродиагностика, цифровая обработка сигналов, эффект Гиббса, оконная функция, преобразование Фурье.

Объектом исследования является: частотно-временная корреляционная функция.

Цель работы: исследование частотно-временной корреляционной функции в задачах обнаружения утечек.

Задачи работы: Исследование частотно-временной корреляционной функции. Исследование влияния оконных функции на частотно-временную корреляционную функцию и на результаты измерения. Исследование влияния изменения ширины частотных интервалов. Исследование воздействия ширины оконной функции на результаты измерения. Перевод на английский язык раздела, исследования частотно-временной корреляционной функций

В процессе исследования проводились: Изменения ширины оконной функция с целью дальнейшего анализа полученных сигналов. Исследования влияния оконных функций на результаты измерений, выбор подходящей функции. Исследование изменений и влияния изменений ширины оконной функции на результаты измерений.

В результате исследования: выбрана ширина оконной функции и получены сигналы, результаты доступны для дальнейшего анализа. Подобрана оконная функция, подходящая для работы с результатами. Подобрана ширина частотного интервала, подходящая для работы с результатами измерений.

Степень внедрения: теоретические результаты, предложенные в данной работе, будут положены в основу разработки новых способов

нормирования частотно-временных корреляционных функций, для дальнейшего повышения эффективности исследования трубопроводов.

Область применения: результаты данной работы (теоретические и программный код), могут быть использованы при разработке корреляционных течеискателей, предусматривающих возможность применения частотно-временного корреляционного анализа.

Экономическая эффективность/значимость работы данная работа является необходимым этапом разработки корреляционного течеискателя нового типа.

В будущем планируется использовать результаты исследования с целью синтезировать и регистрировать новые способы нормирования частотно-временных корреляционной функции.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Обозначения и сокращения .....	13
Введение .....	14
1 Обнаружение сигналов .....	14
1.1. Общие сведения об обнаружении сигналов .....	14
1.2 Спектральный анализ сигналов .....	16
1.3 Возникновение эффекта Гиббса при использовании преобразования Фурье .....	18
1.4 Корреляционная функция .....	21
1.5 Преобразование Фурье и корреляционная функция в задачах обнаружения сигналов .....	25
1.6 Алгоритмы вычисления быстрого преобразования Фурье .....	25
2 Частотно-временная корреляционная функция .....	28
2.1 Анализ сигналов посредством частотно-временной корреляционной функции .....	28
2.2 Последовательность нахождения функции частотно-временной корреляции .....	30
2.3 Влияние оконных функций на информативность показателей .....	31
2.4 Оконное преобразование Фурье в задачах вычисления частотно-временных корреляционных функций .....	39
2.5 Влияние ширины окна на результаты измерений .....	44
2.6 Влияние ширины частотных интервалов на вид частотно-временных корреляционных функций.....	46
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	52
3.1 Краткое описание исследовательской работы .....	52
3.2 Анализ конкурентных технических решений .....	53
3.3 SWOT-анализ .....	54

3.4 Установление вероятных альтернатив выполнения академических изучений .....	54
3.5 Планирование научной исследовательской работы .....	55
3.6 График работы над научным исследованием .....	56
3.7 Бюджет технически научного исследования .....	59
3.8 Расчет расходов на необходимое оборудование .....	60
3.9 Заработная оплата исполнителей работы .....	61
3.10 Дополнительная зарплата работающих над проектом .....	65
3.11 Накладные расходы .....	65
3.12 Формирование бюджета затрат научной исследовательской деятельности .....	66
3.13 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследований .....	66
3.14.1 Расчет интегральных показателей финансовой эффективности .....	66
3.14.2 Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности .....	67
3.14.3 Расчет интегральных показателей эффективности вариантов исполнения разработки .....	68
3.15 Оценка научного-технического уровня научной исследовательской деятельности .....	69
3.16 Оценка экономического эффекта .....	72
4 Социальная ответственность .....	74
4.1 Краткое описание выполняемой работы .....	74
4.2 Общая характеристика рабочего помещения .....	75
4.3 Производственная безопасность .....	75
4.3.1 Анализ вредных производственных факторов и санитарных норм .....	76
4.3.2 Анализ опасных производственных факторов и техника безопасности .....	86
4.3 Экологическая безопасность и охрана окружающей среды .....	87
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (техногенного, природного, социального характера) .....	89

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	92
CONCLUSION .....	94
Список использованных источников .....	95
Приложение А (Investigation of the time-frequency correlation function in leak detection problems) .....	98
Приложение Б (Swot анализ).....	114
Приложение В (Листинг программы) .....	115

## **Обозначения и сокращения**

В данной работе использовались следующие сокращения:

АКФ – автокорреляционная функция

БПФ – быстрое преобразование Фурье

ВКФ – взаимно-корреляционная функция

ДПФ – дискретное преобразование Фурье

КФ – корреляционная функция

ЧВКФ – частотно-временная корреляционная функция

## **Введение**

### **1 Обнаружение сигналов**

#### **1.1. Общие сведения об обнаружении сигналов**

Выявление и локализация утечек является сложной и непростой задачей прошлого и настоящего времени. Минэнерго Российской Федерации предоставляет данные за 2002 год о не исправности 15 % объектов и инженерных сетей. На участок протяженностью десять километров тепловых сетей каждый год регистрируется 7 неисправностей, без учета возможных дефектов, которые в последующем влекут за собой неисправность, а также, в конечном итоге пробой и необходимость аварийного устранения неполадок. В 2010 году, главой Минрегиона Басаргиным заявлено, что тепловые коммуникации отслужившие свои сроки, увеличились до 32,7 %, водопровод – 43,9 %, без учета возможных скрытых дефектов, которые можно заметить благодаря использованию корреляционно-акустического течеискателя.

В данный момент рынок заполнен разнообразием российских и иностранных приборов для локализации утечек трубопроводных сетей. Приборы имеют похожий функционал, схожие эксплуатационные показатели, отличаясь комплектностью составом и строением, различными характеристическими показателями и ценой. Заметим, что методики работы с сигналами и программная часть вносят вклад в более точное проведение аналитических действий. Исходя из этого, нововведения, обеспечивающие оригинальность решений для анализа сигналов, имеют весомый аргумент в конкурентоспособности.

Зачастую для устранения аварии приходится производить ряд операций, включающих в себя раскопки трубопровода в труднодоступных участках, таких как дорожное полотно, населенные пункты и прочее, следовательно, визуального обнаружения аварийного участка. Данные

процедуры влекут за собой демонтаж, оплату работ, вследствие и восстановительные действия.

Состояние трубопроводных сетей оставляет желать лучшего в плане развития и нахождения более новых методов и средств своевременного обнаружения возможных дефектов, которые влекут за собой неисправности, следовательно, экономические расходы. На данный момент отмечается множество возможных вариантов локализации дефективных и аварийных участков, имеющих очевидные особенные отличия и заметные недоработки. На данный момент известны и распространены два вида дефектоскопов: акустического типа и корреляционно-акустического. Первый построен на принципе линейного прослушивания линии труб и локализации высокой точки акустического сигнала. Недостаток метода и приборного оборудования указывает на незначительную чувствительность сигнала, в связи с зашумленностью, искажением сигнала, посредством шума магистральных цепей автотранспорта, кавитационных помех и т.д. Корреляционно-акустический метод, фундаментом которого является информативная составляющая, полученная с двух удаленных друг от друга датчиков на трубопроводе, базирующийся на построении функции взаимной корреляции с целью вычисления места аварийного участка. Данный метод предполагает более точное определение слабого места, однако сохраняют свою силу и внешние факторы среды, как и в акустическом методе.

**Цель работы** – Исследование частотно-временной корреляционной функции, влияния ширины оконной функции на результаты измерений, влияния ширины частотного диапазона на графические показатели.



## 1.2 Спектральный анализ сигналов

Первая особенность — это векторный вход алгоритма быстрого преобразования Фурье БПФ [1]. Алгоритм зачастую работает с массивами значений входного сигнала и на выходе получается вектор комплексных отсчетов спектра сигнала. Требуется векторный вход но отсчеты сигнала зачастую поступают скалярно (по одному), следовательно перед БПФ осуществляется буферизация или накопление отсчетов вектора [2].



Рисунок 1 - Буферизация

Входной вектор временных отсчетов называется – окном, выходной – точки или отсчеты БПФ. Размер входного окна тем или иным способом приравнивается к длине БПФ. Если во входном окне отсчетов больше чем нужно, лишнее отбрасывается, если меньше – входной вектор дополняется нулями. Оттого сколько точек получаем зависит разрешение по частоте определяемое по формуле (1):

$$RBW = \frac{F_s}{N_{FFT}}, \quad (1)$$

где  $F_s$  – частота дискретизации,

$N_{FFT}$  – количество отсчетов.

То есть та частотная сетка, по которой восстанавливается амплитуда и фазы гармоник. Разрешение так же зависит от частоты дискретизации сигнала, по факту применяется весь частотный диапазон от отрицательной половины частоты дискретизации до положительной половины, заполняя его точками в которых оценивается спектр.

Рассмотрим и проанализируем действительный сигнал, рассматривая область положительных частот, ограниченную пределами от нуля до половины частоты дискретизации.

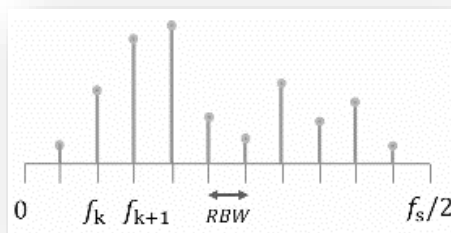


Рисунок 2 - Область положительных частот

В этом диапазоне рассматривается  $n/2$  точек БПФ, с расстоянием между ними равному разрешению по частоте. При конечном числе точек спектр всегда выглядит дискретным, но это не означает что у реальных сигналов есть колебания по частоте  $fk$ ,  $fk+1$ , не имея ничего между [2]. Спектр непрерывен, но рассматривается в окрестности конкретных частотных отсчетов, не имея возможности подсчитать реальный спектр, но с возможностью оценить с конечной точностью.

Часто всплывает понятие спектральной плотности мощности, то есть мощность сигнала, приходящаяся на единичный интервал частоты или же попавший на определенную полосу на оси частот. Так же зачастую не удастся определить точное положение той или иной гармоники в спектре, так как она попадает между точками быстрого преобразования Фурье. Энергия этой гармоники может проявиться в соседних точках БПФ, данный эффект называется утечкой спектра, который невозможно полностью избежать. Сгладить влияние утечки спектра можно при помощи оконных функций. Оконная функция – набор весовых коэффициентов, изменяющих значение амплитуды отсчетов сигнала во временной области [3]. Когда осуществляется спектральный анализ большого сигнала, он делится на небольшие отрезки, взвешиваемые оконной функцией и отправляемых на вход алгоритма БПФ [1].

Различные оконные функции позволяют выполнить оценки различных параметров спектра с большей точностью, но сами вносят искажения.

Идеальная функция в частотной области имела бы форму прямоугольника и получала бы энергию только в окрестностях своей частотной засечки. Но реальные оконные функции собирают энергию из соседних частотных полос своими боковыми лепестками или же не позволяют различить гармоники за счет основного широкого лепестка [3].

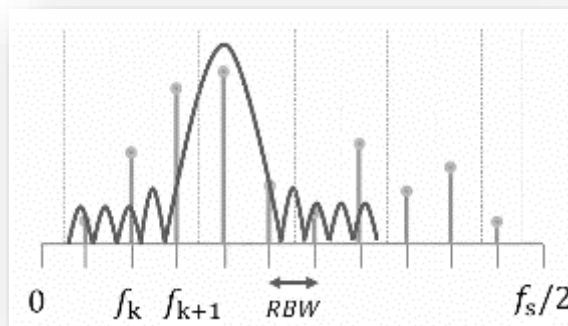


Рисунок 3 - Оконная функция с широким основным «лепестком»

### 1.3 Возникновение эффекта Гиббса при использовании преобразования Фурье

Разложение сигнала на частоты и амплитуды происходит посредством применения преобразования Фурье, с целью перевода из временного представления в частотное [4]. Для работы с численным сигналом применяется дискретное преобразование Фурье. В результате получим набор комплексных отсчетов спектра.

Для вычисления каждого такого отсчета потребуется перемножить и просуммировать весь набор сигналов во временной области со значениями комплексной амплитуды соответствующей частоты. Отсчеты спектра на выбранной частотной сетке соответствуют элементам ряда Фурье, в который была разложена входная последовательность. Существует так же обратное преобразование Фурье, переносящий сигнал из частотной области во временную, подобным образом имеется возможность перевода сигналов в частотную область и обратно без потери точности, но только тогда, когда количество элементов в ряде Фурье бесконечно. В реальных вычислителях

подобное разложение невозможно, поэтому ограничивается количество элементов ряда Фурье [4].

В цифровой обработке сигнала используется дискретное преобразование Фурье (по N отсчетам):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n * [\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - i * \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)] \quad (2)$$

Где N – количество отсчетов.

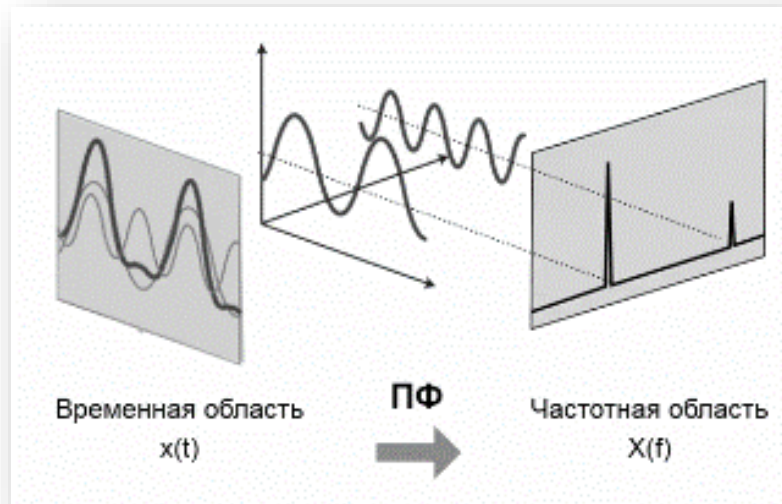
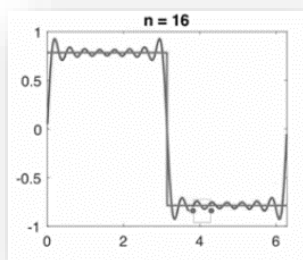
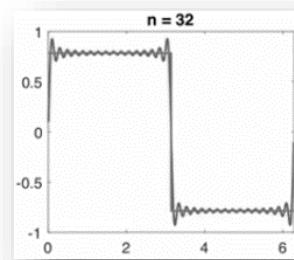


Рисунок 4 - Визуализация преобразования Фурье

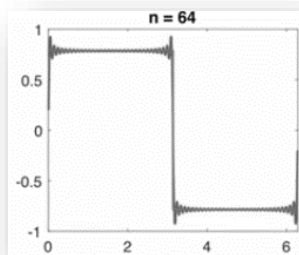
Возьмем пример формирования сигнала из синусоид, указанных на картинках справа налево



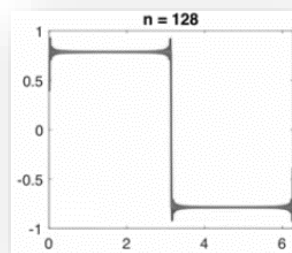
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5 - Уменьшение количества гармоник  $n$ : а)  $n=16$ ; б)  $n=32$ ; в)  $n=64$ ; г)  $n=128$

При уменьшении количества гармоник, форма сигнала отдаляется от прямоугольной. Чем меньше элементов ряда Фурье используется, тем сложнее представить мгновенный переход сигнала из положительного в отрицательное значение. Подобный скачек можно описать синусоидой с бесконечно большой частотой. Искажения сигнала, связанные с ограничением ряда Фурье, называются эффектом Гиббса [4].



Рисунок 6 - Эффект Гиббса

При возникновении эффекта Гиббса, наблюдаются размытия резких перепадов, так же нежелательные выбросы и колебания в районе этих перепадов. Встречается данный эффект в повседневной жизни, к примеру, в цифровых изображениях, указанных ниже.

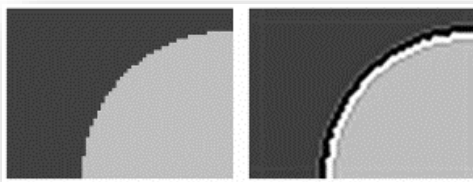


Рисунок 7 - Сжатие JPG файла

Алгоритм сжатия JPG файла основан на преобразовании Фурье и на границе перепадов яркости пикселей наблюдается размытие выбросы и колебания амплитуды. Так же можно не только видеть, но и слышать данный эффект. При сжатии музыкального файла колебания, возникающие до резкого перепада могут рассматриваться как пре-эхо, к примеру, при резком вступлении партии или ударе по тарелке.

#### 1.4 Корреляционная функция

Когда рассматриваются случайные процессы, упоминаются корреляционная функция как мера изменения скорости процесса. Корреляционная функция измеряется для сигнала, а значит происходит сравнение сигнала с самим собой, который сдвинут во времени [5].

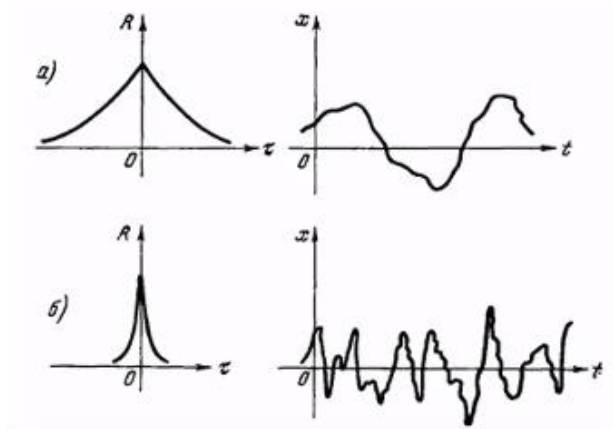


Рисунок 8 - Корреляционная функция: а) растянута во временной области;  
б) не растянута

Для понимания того как найти корреляционную функцию сигнала вспоминается понятие корреляции. Корреляция — это мера зависимости двух величин для численной оценки используется коэффициент корреляции,

который не может быть больше единицы и меньше минус единицы. Когда коэффициент корреляции плюс один, говорится что две величины идеально коррелированы друг с другом [5] и значит, что при изменении первой величины на какое-либо значение, вторая изменяется на такое же значение. Если коэффициент минус единица, то рост у первой величины соответствует уменьшению второй величины на такое же значение.

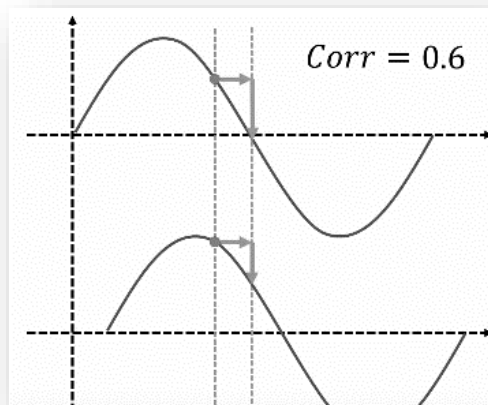


Рисунок 9 - Зависимость коэффициента корреляции от временного сдвига

В начальный момент времени сигналы выровнены и коэффициент корреляции равен плюс единице. При равномерном приращении первая и вторая функции изменяются одинаково. При равном приращении изменяется на равную величину а значит коэффициент корреляции между двумя зависимостями становится меньше. Увеличивая временной сдвиг доходим до момента, когда значение первой величины, соответствуют увеличению значения второй, а значит коэффициент корреляции становится отрицательным.

Зависимость коэффициента корреляции от временного сдвига между сигналами по сути есть корреляционная функция.

Рассмотрим взаимно корреляционную функцию и оценим зависимость между двумя сигналами. Частным случаем взаимной корреляции является автокорреляционная функция, когда сравнивается сигнал с задержанной во времени копией.

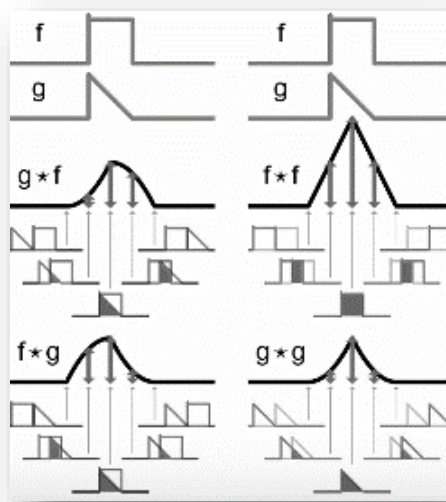


Рисунок 10 - Взаимно корреляционная функция

Первая функция  $f$  фиксируется на временной оси, а вторая по этой оси перемещается из значения отрицательного сдвига [5,6] между функциями в область положительных значений сдвига. Величина корреляции соответствует площади перекрытия двух графиков и максимума достигает, когда две фигуры максимально накладываются друг на друга. Отметим, что если поменять две функции местами, зафиксировав  $g$  и скользя по  $f$ , то вид корреляционной функции изменится на зеркальный. В случае автокорреляционной функции форма зависимости всегда симметрична и имеет максимум в точке равной нулевому сдвигу сигнала относительно самого себя.

Важно отметить автокорреляционную функцию случайного процесса. Она имеет один выраженный максимум и при малейшем сдвиге значения ее падают до нуля – это говорит о том, что шум слабо коррелированный процесс и этим свойством пользуемся в рамках данной работы при обработке сигналов. Обработка корреляционными методами это важная часть обработки цифровой обработки сигналов.



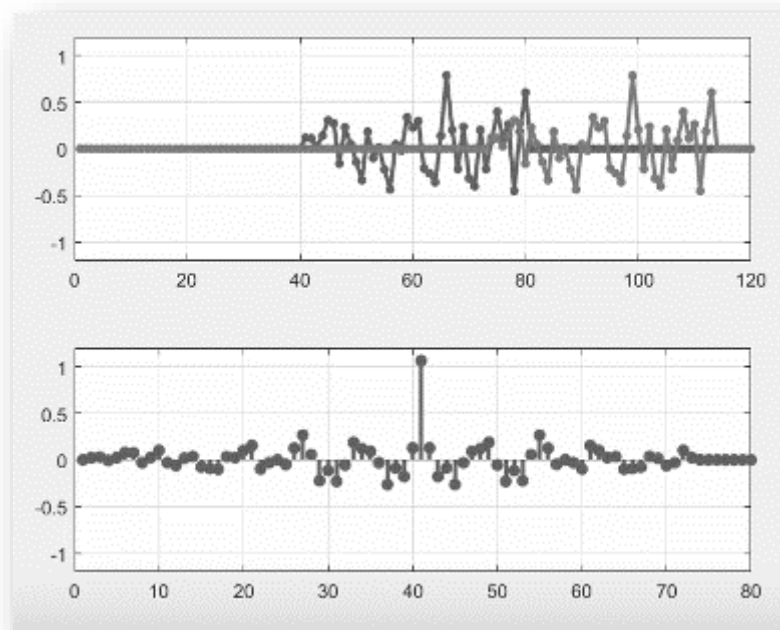


Рисунок 11 - Автокорреляционная функция случайного процесса

При помощи вычисления взаимно корреляционной функции можно обнаружить интересные отрезки сигнала в эфире [6], в том числе на фоне шумов.

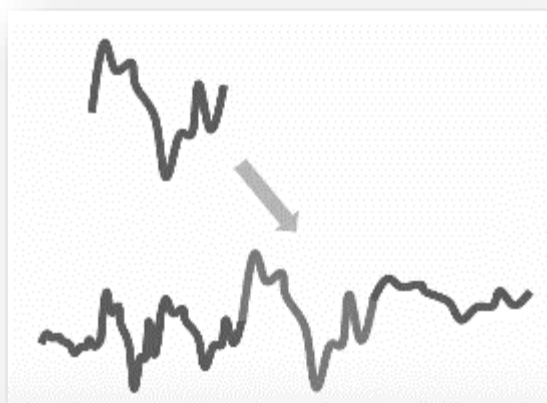


Рисунок 12 - Сигнал на фоне шума

Ранее было показано, что ширина окна БПФ ( $N$ ) оказывает влияние на помехоустойчивость корреляционного анализа. В связи с этим, экспериментально производилась оценка влияния ширины окна БПФ на эффективность выделения гармонической составляющей. Параметры

сигналов, присутствующих в смеси. Частота дискретизации сигнала  $f_d = 44100$  Гц.

### **1.5 Преобразование Фурье и корреляционная функция в задачах обнаружения сигналов**

Разложение сигнала на частоты и амплитуды происходит посредством применения преобразования Фурье, с целью перевода из временного представления в частотное. Для работы с численным сигналом применяется дискретное преобразование Фурье. В результате получим набор комплексных отсчетов спектра.

Для вычисления каждого такого отсчета потребуется перемножить и просуммировать весь набор сигналов во временной области со значениями комплексной амплитуды соответствующей частоты. Отсчеты спектра на выбранной частотной сетке соответствуют элементам ряда Фурье, в который была разложена водная последовательность. Существует так же обратное преобразование Фурье, переносящий сигнал из частотной области во временную, подобным образом имеется возможность перевода сигналов в частотную область и обратно без потери точности, но только тогда, когда количество элементов в ряде Фурье бесконечно. В реальных вычислителях подобное разложение невозможно, поэтому ограничивается количество элементов ряда Фурье.

В цифровой обработке сигнала используется дискретное преобразование Фурье (по  $N$  отсчетам).

### **1.6 Алгоритмы вычисления быстрого преобразования Фурье**

Быстрое преобразование Фурье — это эффективный алгоритм для вычисления дискретного преобразования Фурье. Длина Временной последовательности БПФ равна  $2^n$  [7].

Есть несколько вариаций алгоритма; более известная версия: алгоритм Кули-Тьюки. Данный алгоритм основывается на том Факте что вычисление дискретного преобразования Фурье, к примеру [7] из 8 точек может выполняться отбором четных и нечетных значений входного сигнала и выполнением двух четырехточечных ДПФ с дальнейшей операцией прореживания во времени

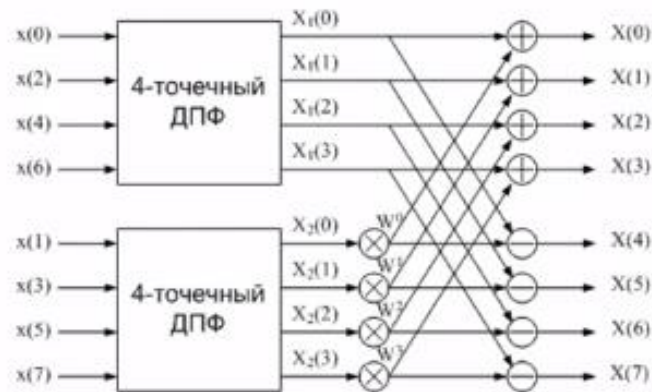
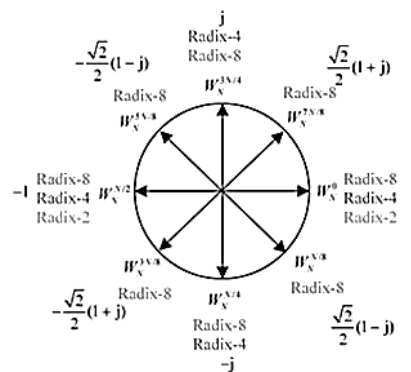


Рисунок 13 - Алгоритм Кули-Тьюки.

Операция прореживания во времени требует умножения выходных отчетов ДПФ на поворачивающие коэффициенты, являющимися значениями комплексной экспоненты.



$$W_N = e^{-j\frac{2\pi k}{N}}$$

Рисунок 14 - Значения комплексной экспоненты

Причем значений берется на окружность столько значений, сколько точек ДПФ требуется объединить. Если рассматривается ДПФ по двум точкам, то и поворачивающих коэффициентов (точек на окружности комплексной экспоненты), потребуются 2. Значения являются сугубо

действительными +1 и -1. В случае ДПФ по четырем или восьми точкам задействуются мнимые и комплексные коэффициенты, но простейший двухточечный вариант позволяет обойтись операциями сложения и вычитания отсчетов. Данная операция имеет название «Butterfly» [7], за внешнее сходство графа с насекомым.

$$y_0 = x_0 + x_1 * w_1$$

$$y_1 = x_0 + x_1 * w_2$$

$$y_0 = x_0 + x_1$$

$$y_1 = x_0 - x_1$$

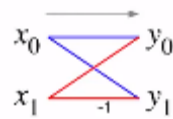
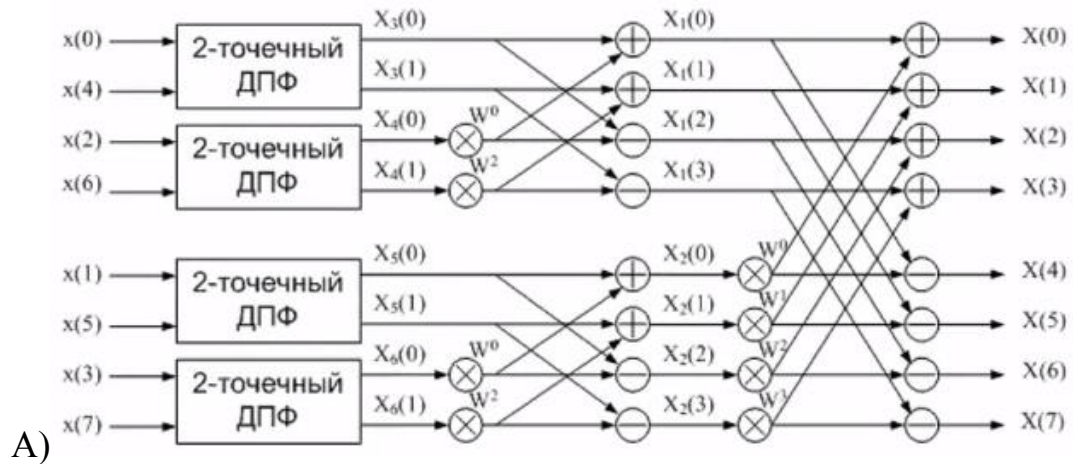
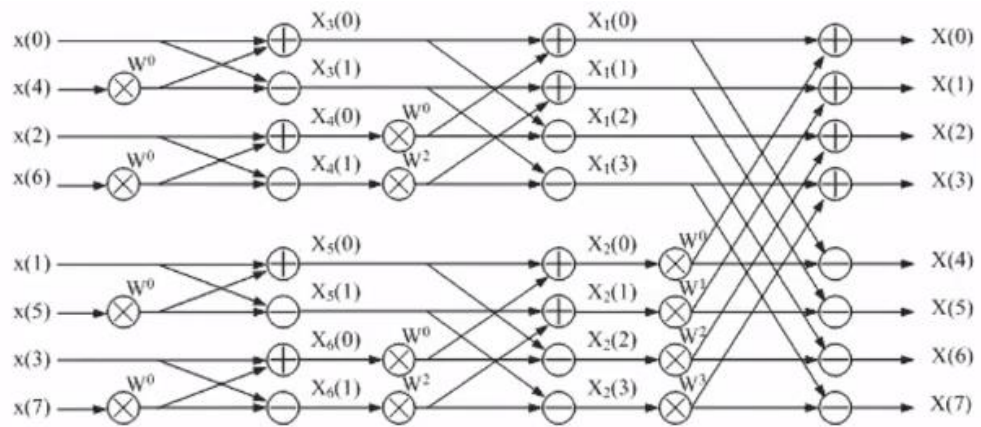


Рисунок 15 - Сложения и вычитания отсчетов, алгоритм «Butterfly»

Использование прореживания БПФ по времени позволят восьми точечное быстрое преобразование Фурье к примеру, вычислить из двух четырехточечных, четырех двухточечных





Б)

Рисунок 16 - Вычисление БПФ: А) 2 четырехточечных, Б) 4 двухточечных.

Следовательно, можно разложить любое БПФ степени двойки [7].

Быстрое и обратное преобразование Фурье применяются в различных задачах цифровой обработки сигналов, таких как: фильтрация в частотной области, сжатие, осуществление быстрой дискретной свертки и при спектральном анализе.



Рисунок 17 - Использование БПФ и ОБПФ

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

#### **3.1 Краткое описание исследовательской работы**

Целью данной научно-исследовательской работы является исследование частотно-временной корреляционной функции в задачах обнаружения утечек, а также влияния ширины оконной функции на результаты измерений и ширины частотного окна. Работа проводится исключительно на компьютере в средах программирования и выполнения математических операций ППП Mathcad, Matlab. Задачи определения места истечения жидкости остаются актуальными в настоящее время, и находят применение в жилищно-коммунальном секторе, нефтегазовой отрасли и прочих местах транспортировки жидкой и газообразной среды.

Следует отметить, что представленная работа приходится необходимой и значимой частью проекта, имеющего задачу разработки течепоискового комплекса, использующего, так же с традиционными методиками цифрового анализа сигналов.

Метод обработки информации в течепоисковом комплексе (отличающийся мобильностью и высокой производительностью), применяющий уникальный общематематический аппарат частотно-скоротечных взаимосвязных функций, с целью обработки сведений, пребывающих в исследуемом трубопроводе.

Целевой рынок:

Отрасль нефтеперерабатывающих компаний, коммунально-жилищное хозяйство.

		Виды течеискателей			
		Портативные	Универсальные	Высокопроизводительные мобильные	Высокопроизводительные - консольные
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

	GUTERMANN		PFEIFFER VACUUM		CPS
--	-----------	--	--------------------	--	-----

Рисунок 40 – Карта сегмента рынка течеискателей и их типов

Следовательно, основные конкуренты — это компании Пфайфер, Вакум и Гутерман.

### 3.2 Анализ конкурентных технических решений

В таблице ниже указывается оценивающая схема с целью сопоставления конкурентных технических заключений (исследований).

Таблица 9 - Оценивающая схема с целью сопоставления конкурентных технических заключений (исследований).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,18	5	4	4	0,90	0,72	0,72
3. Надежность	0,13	5	3	4	0,65	0,39	0,52
4. Простота эксплуатации	0,12	4	5	5	0,48	0,60	0,60
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	5	4	4	0,40	0,32	0,32
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
3. Цена	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	3	4	0,40	0,24	0,32
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
<b>Итого</b>	<b>1</b>	47	39	42	4,74	3,89	4,19

Применение высокопроизводительной технологии распараллеленного программирования, предоставляет возможность достичь более высоких оценок в техническом и финансовом плане.

### 3.3 SWOT-анализ

SWOT: S – сильная сторона, W – слабая сторона, O – возможность, T – угроза. Предоставляется возможность в комплексе проанализировать научно-исследовательскую деятельность. Анализ приведен в приложении Б[15].

### 3.4 Установление вероятных альтернатив выполнения академических изучений

Пример 1 – течепоисковая техника с применением графической карты с целью проведения массивных распараллеленных вычислительных действий.



Пример 2 – течепоисковая техника с применением многоядерного центрального процессора с целью совершения больших алгебраических исчислений. Пример 3 – течепоисковая техника с применением платы DSP, расширяющих вычисление больших алгебраических действий.

### 3.5 Планирование научной исследовательской работы

Структура работы в рамках запланированной исследовательской деятельности [15].

Таблица 10 - Перечисление этапов работы и распределение деятелей.

Ключевой этап	№	Сущность работы	Должность
Подготовка	1	Целевая постановка	Научный руководитель
	2	Создание тех. задания	Научный руководитель, магистр
	3	Выбор и изучение источников, технологий	Магистр
Изучение и анализ предметной сферы	4	Определенность функционирования системы	Научный руководитель, магистр
	5	Исследование и оценивание имеющихся изобретений	Магистр
	6	Формулировка главного принципа программного оформления изделия (алгоритмическое алгебраическое обеспечение)	Магистр
Создание проекта	7	Подбор технологического и архитектурных особенностей создания	Магистр
	8	Создание программы	Магистр
	9	Тест и отлаживание (поиск и исключение ошибки)	Научный руководитель, Магистр
Оформление документов и подготовка к презентации	10	Создание пояснительного документа (методических указаний)	Магистр
	11	Написание отчетности о работе	Магистр
	12	Подготовка графических материалов	Магистр

### 3.6 График работы над научным исследованием

Произведение расчета коэффициентного показателя календарности [15]:

- Календарные дни в году  $D_k = 365$ ;
- Выходные и праздники в году  $D_v + D_p = 124$








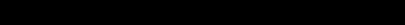





$$K_k = \frac{D_k}{D_k - D_v - D_p} = \frac{D_k}{D_k - (D_v + D_p)} = \frac{365}{365 - 124} \approx 1.5$$

Показатели времени осуществления исследовательской деятельности, в таблице ниже.

Таблица 11 - Время, требуемое для осуществления исследовательской деятельности

Наименование	Объем труда									Исполнитель			Длит., раб. дни $D_r$			Длит., календ. дни $D_k$		
	$T_{\text{Ми}}$			$T_{\text{Ма}}$			$T_0$											
	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3
Определение и постановка целей	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	1	1	1	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	3-4
Создание тех задания	1	0,5	1	1,5	1	1,5	1,2	0,7	1,2	2	2	2	2-3	1-2	2-3	3-4	2-3	3-4
Выбор и анализ источников	20	15	30	25	20	35	22	17	32	1	1	1	20-25	15-20	30-35	30-38	23-30	46-53
Выбор функционирования системы	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,7	0,7	0,7	2	2	2	1-2	1-2	1-2	2-3	2-3	2-3
Основа принципов работы над продуктом	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	1	1	1	2-3	1-2	2-3	3-4	2-3	2-3
Выбор технологий, архитектурное построение	2	1	2	3	2	3	2,4	1,4	2,4	1	1	1	1-2	1-2	1-2	2-3	2-3	2-3
Программное решение	28	20	32	35	28	42	30,8	23,2	36	1	1	1	28-35	20-28	32-42	43-53	30-43	48-65
Тест и отлаживание	3,5	1	4	4,5	2,5	4,5	3,9	1,6	4,2	2	2	2	7-9	2-5	8-9	11-14	3-8	12-14
Положение пояснительного описания	6	6	6	8	8	8	6,8	6,8	6,8	1	1	1	6-8	6-8	6-8	9-12	9-12	9-12
Создание отчета работы	4	4	4	8	8	8	5,6	5,6	5,6	1	1	1	4-8	4-8	4-8	6-12	6-12	6-12
Графический материал	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	1	1	1	1-2	1-2	1-2	2-3	2-3	2-3

Таблица 12 - Календарь план-график

№ работ Вид работ Исполнители Т <sub>р</sub> , кал. дн.				Продолжительность выполнения работ																	
				д.	январь			февраль			март			апрель			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Определение и постановка целей	НР	4																		
2	Составление технического задания	НР, Магистрант	4																		
3	Подбор и изучение литературы и технологий	Магистрант	53																		
4	Определение функций системы	НР, Магистрант	3																		
5	Изучение и оценка существующих решений	Магистрант	3																		
6	Формулирование основных принципов программной реализации продукта	Магистрант	3																		
7	Выбор технологий и архитектурных принципов реализации	Магистрант	3																		
8	Программная реализация	Магистрант	65																		
9	Тестирование и отладка	НР, Магистрант	14																		
10	Составление пояснительной записки	Магистрант	12																		
11	Написание отчёта о проделанной работе	Магистрант	12																		
12	Оформление графического материала	Магистрант	3																		
	Научный руководитель (НР)	Магистрант																			



 Научный руководитель (НР)  Магистрант

Таблица 13 - Ожидаемый объем работ

№ Примера	Объем работ, чел. дни
1	79,5
2	62,9
3	94,7

### 3.7 Бюджет технически научного исследования

#### *Итог финансовых затрат технического научного исследования*

Возьмем коэффициент [16], транспортных заготовительных расходов

$$R_t = 0.18$$

Таблица 14 - Финансовые затраты

Наименование	Едини- ца из- мере- ния	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Тетрадь (48 листов)	шт.	2	2	2	54	54	54	127,44	127,44	127,44
Бумага для офисной техники (500 листов)	пачка	1	1	1	156	156	156	184,08	184,08	184,08
Тонер для лазерного принтера HP LJ 1200 AQC (флакон, 150 гр.)	шт.	1	1	1	110	110	110	129,8	129,8	129,8
Электроэнергия	кВт×ч	233	78	75	2,76	2,76	2,76	758,84	254,03	244, 26
Итого:								1200,16	695,35	685,58

### 3.10 Расчет расходов на необходимое оборудование

Таблица 15 - Расчет расходов на покупку необходимого оборудования для научной работы

№	Название			Кол-во ед.			Цена за ед., руб.			Общ стоим-ть, т. Руб.		
	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3
1	Процессор AMD FX-4300	Процессор AMD FX-9590	Процессор AMD FX-4300	1	1	1	2,69	11,642	2,69	2,69	11,642	2,69
2	Кулер Cooler Master Hyper TPC 812	Кулер Cooler Master Hyper TPC 812	Кулер Cooler Master Hyper TPC 812	1	1	1	3,287	3,287	3,287	3,287	3,287	3,287
3	Мат. плата Gigabyte GA-990FXA-UD7	Мат. плата Gigabyte GA-990FXA-UD7	Мат. плата Gigabyte GA-990FXA-UD7	1	1	1	8,776	8,776	8,776	8,776	8,776	8,776
4	Накопитель SSD ADATA 256GM-C	Накопитель SSD ADATA 256GM-C	Накопитель SSD ADATA 256GM-C	1	1	1	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11
5	Блок питания Corsair HX1050	Блок питания Corsair HX1050	Блок питания Corsair HX1050	1	1	1	7,544	7,544	7,544	7,544	7,544	7,544
6	Корпус Miditower Corsair 300R	Корпус Miditower Corsair 300R	Корпус Miditower Corsair 300R	1	1	1	3,110	3,110	3,110	3,110	3,110	3,110
7	Память DDR3 Crucial 8Gb 1600 Mhz	Память DDR3 Crucial 8Gb 1600 Mhz	Память DDR3 Crucial 8Gb 1600 Mhz	1	1	1	2,697	2,697	2,697	2,697	2,697	2,697
8	Видеокарта ASUS GTX-760	Видеокарта ASUS GTX-760	Видеокарта ASUS GTX-760	3	1	1	9,17	9,17	9,17	26,9	9,17	9,17
9	—	—	Плата расширения DSP KX-TDE0111	—	—	1	—	—	43,384	—	—	43,384
Итого										61,114	52,336	86,768
Итого с 15% добавкой на монтаж и доставку										70,281	60,186	99,783

### 3.11 Заработная оплата исполнителей работы

Рассчитаем зарплату [16] по следующей формуле:

$$Z_d = \frac{Z_M * M}{F_d}, Z_M - \text{оклад рабочего за месяц, руб.};$$

Где  $F_d$  - Рабочее время научного рабочего персонала, дн;

$M$  – общее число месяцев деятельности без отпуска за год:

- При отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  мес. 5 дней в неделю.

- При отпуске в 48 рабочих дней  $M = 10,4$  мес. 6 дней в неделю.

Таблица 16 - Баланс времени работы

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер-программист
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: — выходные дни; — праздничные дни.	124	124
Потери рабочего времени: — отпуск; — невыходы по болезни.	24	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	217	217

Оклад за месяц рабочего:

$$Z_M = Z_{TC} * (1 + k_{pr} + k_d) * k_p$$

Где  $Z_{TC}$  – зарплата с учетом тарифной ставки, руб.;

$k_{pr}$  - коэффициент премии равный 0.3;

$k_d$  – доплата и надбавка, примерно 0.15 (за профессионализм);

$k_p$  – районный коэффициент равен 1.3 для г. Томск.

Зарплата с учетом тарифной ставки [16] вычисляется произведением показателей ставки тарифа рабочего первого разряда  $T_{CI}=4330$  рублей (исходя из того что единая сеть по оплате трудовых действий рабочих бюджетного учреждения регионального и муниципального уровня с первого января 2009 г.) на коэффициент тарифа  $k_t$ .

Для инженера, имеющего шестой разряд и способности программировать

$$k_t=1,407$$

Осуществим расчет оплаты труда согласно тарифной ставке, месячный должностной оклад, среднедневная ЗП для программирующего инженера шестого разряда:

$$Z_{tc} = T_{ct} * k_r = 4330 * 1.407 = 6092.31 \text{ rub}$$

$$Z_M = Z_{tc} * (1 + k_{pr} + k_d) * k_p = 6092.31 * (1 + 0.3 + 0.15) * 1.3 = 11484 \text{ rub}$$

$$Z_{dn} = \frac{Z_M * M}{F_d} = \frac{11484 * 11.2}{217} = 592.72 \text{ rub}$$

Оклад за месяц руководителя в ТПУ [16], не взяв в учет районный коэффициент, получается 23264,86 рублей.

Учтем региональный коэффициент:

$$Z_M = Z_M * k_p = 23264.86 * 1.3 = 30244.3 \text{ rub}$$

$$Z_{dn} = \frac{Z_M * M}{F_d} = \frac{30244.3 * 11.2}{217} \approx 1561 \text{ rub}$$

Расчитанная основная зарплата для всех работающих над проектом в таблицах ниже:



Таблица 17 - Расчет основной заработной платы студентадипломника

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям			Трудоёмкость, чел-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел –дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладом), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
2	Составление технического задания	НР И	НР И	НР И	1,2	0,7	1,2	0,592	0,592	0,592	0,7104	0,4144	0,7104
3	Подбор и изучение литературы и технологий	И	И	И	22	17	32	0,592	0,592	0,592	13,024	10,064	18,944
4	Определение функций системы	И	И	И	0,7	0,7	0,7	0,592	0,592	0,592	0,4144	0,4144	0,4144
5	Изучение и оценка существующих решений	И	И	И	1,4	1,4	1,4	0,592	0,592	0,592	0,8288	0,8288	0,8288
6	Формулирование основных принципов программной реализации продукта	И	И	И	2,4	1,4	2,4	0,592	0,592	0,592	1,4208	0,8288	1,4208
7	Выбор технологий и архитектурных принципов реализации	И	И	И	1,4	1,4	1,4	0,592	0,592	0,592	0,8208	0,8208	0,8208
8	Программная реализация	И	И	И	30,8	23,2	36	0,592	0,592	0,592	18,2336	13,7344	21,312
9	Тестирование и отладка	НРИ	НР И	НР И	3,9	1,6	4,2	0,592	0,592	0,592	2,3088	0,9472	2,4864
10	Составление пояснительной записки	И	И	И	6,8	6,8	6,8	0,592	0,592	0,592	4,0256	4,0256	4,0256
11	Написание отчёта о проделанной работе	И	И	И	5,6	5,6	5,6	0,592	0,592	0,592	3,3152	3,3152	3,3152
12	Оформление графического материала	И	И	И	1,4	1,4	1,4	0,592	0,592	0,592	0,8288	0,8288	0,8288
Итого:											45,9392	36,2304	55,1152

Таблица 18 - Расчет оплаты труда руководителя научной работы ТПУ

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям			Трудоёмкость, чел-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел. –дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладом), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Определение и постановка целей	НР	НР	НР	2,4	2,4	2,4	1,561	1,561	1,561	3,7464	3,7464	3,7464
2	Составление технического задания	НР И	НР И	НР И	1,2	0,7	1,2	1,561	1,561	1,561	1,8732	1,0927	1,8732
4	Определение функций системы	НР И	НР И	НР И	0,7	0,7	0,7	1,561	1,561	1,561	1,0927	1,0927	1,0927
9	Тестирование и отладка	НР И	НР И	НР И	3,9	1,6	4,2	1,561	1,561	1,561	6,08769	2,4976	6,5562
Итого:											12,8002	8,4294	13,2685

### 3.12 Дополнительная зарплата работающих над проектом

Таблица 19 -Расчет дополнительного финансового поощрения за труд

Деятель	Осн. Оплата труда, т. руб			Доп. Оплата труд		
	И1	И2	И3	И1	И2	И3
Рук-ль ТПУ	12,8002	8,4294	13,2685	1,92	1,26441	1,99027
Студент	45,9392	36,2304	55,1152	6,89088	5,43456	8,26728
Итого:	58,7394	44,6598	68,3837	8,81088	6,69897	10,25755

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{vneb} = k_{vneb}(Z_{osn} + Z_{dop})$$

Где  $k_{vneb}$  – коэффициент начислений уплаты во внебюджетный фонд.

На 2016 г. В соответствии с Федеральным законом от 24.07.09 №212-ФЗ установлена размерность взносов равная 30 %. На основании пункта 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность с 2014 г. вводится пониженная ставка – 27,1% [16].

Таблица 20 - Отчисления во внебюджетный фонд

Исполнитель	Основная плата, т. Р.			Доп. Плата, т. Р.		
	И1	И2	И3	И1	И2	И3
Рук-ль ТПУ	12,8002	8,4294	13,2685	1,92	1,26441	1,99027
Студ-т	45,9392	36,2304	55,1152	6,89088	5,43456	8,26728
Коэф. Отчисл-й	0,27					
Итого						
И1	(12,8002+1,92+45,9392+6,89088)*0,271=18,30612 тыс. руб.					
И2	(8,4294+36,2304+1,26441+5,43456)*0,271=13,91823 тыс. руб.					
И3	(13,2685+1,99027+55,1152+8,26728)*0,271=21,31178 тыс. руб.					

### 3.13 Накладные расходы

Накладные расходы рассчитываются следующей формулой [3]:

$$Z_{nakl} = \left( \text{сумма статей} \frac{1}{7} \right) * k_{nr}$$

Где  $k_{nr}$ - 0,16 коэффициент накладных расходов.

Таблица 21 - Накладные расходы

Исполнение	Накладные расходы, руб.
И1	$(1200,16+71624+58739,4+8810,88+18306,12+0+0)*0,16=25388,89$
И2	$(695,35+60657+44659,8+6698,97+13918,23+0+0)*0,16=20260,70$
И3	$(685,58+94233+68383,7+10257,55+21311,78+0+0)*0,16=31179,46$

### 3.14 Формирование бюджета затрат научной исследовательской деятельности

Таблица 22 - Расчет бюджета научного технического исследования

Наименование	Сумма, руб			Примеч-е
	И1	И2	И3	
1. Фин. затраты	1200,16	695,35	685,58	2.7
2. Расходы на спец. Оборуд.	71624	60657	94233	2.10
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	58739,4	44659,8	68383,7	2.11
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8810,88	6698,97	10257,55	2.11
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18306,12	13918,23	21311,78	2.12
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	0	0	_____
7. Контрагентские расходы	0	0	0	_____
8. Накладные расходы	25388,89	20260,70	31179,46	2.13
9. Бюджет затрат НТИ	184069,45	146890,05	226051,07	Сумма

### 3.15 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследований

#### 3.15.1 Расчет интегральных показателей финансовой эффективности

Интегральный фин. показатель эффективности [15]:

$$I_{fin}^{isp} = \frac{\Phi_{\text{пи}}}{\Phi_{\text{мах}}}$$

Где  $\Phi_{\text{пи}}$  – стоимость и-го варианта создания

$\Phi_{\text{мах}}$  – максимальный показатель стоимости научного исследования

$$I_{fin}^{isp1} = \frac{\Phi_{\text{пи1}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{184069,45}{226051,07} \approx 0,814$$

$$I_{fin}^{isp2} = \frac{\Phi_{\pi 2}}{\Phi_{\max}} = \frac{146890,05}{226051,07} \approx 0,650$$

$$I_{fin}^{isp3} = \frac{\Phi_{\pi 3}}{\Phi_{\max}} = \frac{226051,07}{226051,07} \approx 1$$

Извлеченная величина отражающая финансовый показатель разработки, означающий увеличение стоимости в разгах (значение  $> 1$ ), либо численно удешевленная стоимость разработки в разы (значение  $< 1$  но  $> 0$ )

Анализ интегрального финансового показателя помогает сделать вывод что самая дешевая разработка это И2.

### 3.15.2 Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности

Осуществим расчет при помощи следующей формулы (3.1):

$$I_{\pi j} = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (3.1)$$

Где  $I_{\pi j}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $j$  варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го критерия оценки для  $j$ -го варианта создания разработанной идеи.

$b_i$  – бальная оценка по  $i$ -ому критерию  $j$ -го варианта создания разработки.

$n$  – число сравниваемых параметров.

Расчетные действия над показателем ресурсоэффективности приведены в таблице ниже.

$$I_{fin}^{isp2} = \frac{\Phi_{\pi 2}}{\Phi_{\max}} = \frac{146890,05}{226051,07} \approx 0,650$$

$$I_{fin}^{isp3} = \frac{\Phi_{\pi 3}}{\Phi_{\max}} = \frac{226051,07}{226051,07} \approx 1$$

Извлеченная величина отражающая финансовый показатель разработки, означающий увеличение стоимости в разы (значение  $> 1$ ), либо численно удешевленная стоимость разработки в разы (значение  $< 1$  но  $> 0$ )

Анализ интегрального финансового показателя помогает сделать вывод что самая дешевая разработка это И2.

### 3.15.2 Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности

Осуществим расчет при помощи следующей формулы (3.1):

$$I_{пj} = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (3.1)$$

Где  $I_{пj}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $j$  варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го критерия оценки для  $j$ -го варианта создания разработанной идеи.

$b_i$  – бальная оценка по  $i$ -ому критерию  $j$ -го варианта создания разработки.

$n$  – число сравниваемых параметров.

Расчетные действия над показателем ресурсоэффективности приведены в таблице ниже.

Таблица 23 - Сравнительная оценка характеристик создания проекта

Критерий	Об-т иссл-я	Вес-й коэф-т	1	2	3
1. Увеличение произв-ти труда польз.		0,1	5	5	5
2. Удобство в использовании		0,15	5	5	4
3. Надежность		0,15	3	4	5
4. Простота пользования		0,20	5	5	5
5. Кач-во интелл. интерф-са		0,25	5	5	5
6. Энергосбер-е		0,15	3	5	4
Итого		1	6	9	8

### 3.15.3 Расчет интегральных показателей эффективности вариантов исполнения разработки

$$I_{исл.1} = \frac{I_{р-исл1}}{I_{фигр}} \approx \frac{4,4}{0,814} = 5,405; I_{исл.2} = \frac{I_{р-исл2}}{I_{фигр}} \approx \frac{4,85}{0,65} \approx 7,462;$$

$$I_{исл.3} = \frac{I_{р-исл3}}{I_{фигр}} \approx \frac{4,7}{1} \approx 4,7.$$

Сравним интегральный показатель эффективности варианта создания поможет вычислить сравнивающую эффективность деятельности и подобрать наиболее подходящий вариант создания [15].

Осуществим вычисление сравнительной эффективности разработки для разных примеров:

$$\mathcal{E}_{ср 1-2} = \frac{I_{исл1}}{I_{исл2}} = \frac{5,405}{7,462} \approx 0,724; \mathcal{E}_{ср 1-3} = \frac{I_{исл1}}{I_{исл3}} = \frac{5,405}{4,7} \approx 1,15;$$

$$\mathcal{E}_{ср 2-1} = \frac{I_{исл2}}{I_{исл1}} = \frac{7,462}{5,405} \approx 1,380; \mathcal{E}_{ср 2-3} = \frac{I_{исл2}}{I_{исл3}} = \frac{7,462}{4,7} \approx 1,588;$$

$$\mathcal{E}_{ср 3-1} = \frac{I_{исл3}}{I_{исл1}} = \frac{4,7}{5,405} \approx 0,869; \mathcal{E}_{ср 3-2} = \frac{I_{исл3}}{I_{исл2}} = \frac{4,7}{7,462} \approx 0,63.$$

Таблица 24 - Сравнительная эффективность разработанной темы.

№	Показатель	И1	И2	И3
1	Интегра. фин показатель раз-ки	0,814	0,65	1
2	Интегр. Показ-ль ресурс-тиразраб.	4,4	4,85	4,7
3	Интегр. Показ . эф-ти	5,405	7,462	4,7
4	Срав. Эф-ть вар. Исполн-я	$\bar{\mathcal{E}}_{\text{ср}1-2}=0,724;$ $\bar{\mathcal{E}}_{\text{ср}1-3}=1,15.$	$\bar{\mathcal{E}}_{\text{ср}2-1}=1,38;$ $\bar{\mathcal{E}}_{\text{ср}2-3}=1,588.$	$\bar{\mathcal{E}}_{\text{ср}3-1}=0,869;$ $\bar{\mathcal{E}}_{\text{ср}3-2}=0,63.$

Следовательно, из таблицы следует что с точки зрения финансового и ресурсного сектора эффективности И2 выглядит самым эффективным.

### **3.16 Оценка научного-технического уровня научной исследовательской деятельности**

В взаимосвязи с этим, то что данная деятельность подразумевает извлечение итогов, специализированных с целью применения в последующем, в главном, присутствие исследования программно-аппаратных тепепоисковых ансамблей и ансамблей вибродиагностирования, в свойстве главного аспекта его производительности установлен создаваемый учено-промышленный результат.

Установлено, то что анализ научно-технологической степени деятельности исполняется с поддержкой бального способа. Присутствие в данном, согласно имеющимся аспектам выполняется бальный анализ подобных данных равносильных новизне. Характеристика признаков научно-исследовательской работы производится в табличном виде, ниже:



Таблица 25 - Общие расходы на выполнение научной исследовательской работы.

Признак научно-тех-го эф-та НИР	Хар-кипризн. НИОКР	Весовой коэф-т
Уровень новизны	Систематизируются, обобщаются существующие данные, формируются новейшие взаимосвязи среди известных условий	0,4
Теор. Уровень	Создание метода. Его применение с целью выполнения вычисляемых исследований	0,1
Возм-тьреализ.	Период создания в течении 1-х лет	0,5
Масш. Реализ-и	Ряд сфер общенародного хозяйства: жилищно-общественное производство; перевозка нефти и нефтепродуктов	

Результирующие показатели признаков научно исследовательской работы и их подтверждение доводятся в таблице ниже. Нужно выделить, то что анализ согласно показателю масштабов реализации, не осуществляется в связи с неаккумулятивностью при отношении к признакам возможности реализации.

Таблица 26 - Оценка научного технического уровня научной исследовательской работы

Фактор НТУ	Вес	Уровень фактора	Балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относ. Нов	4	Выполняется изучение производительности уникального метода обрабатывания сигналов с целью постановления фактических вопросов, а кроме того его сопоставление с классическими методами
Теоретический уровень	0,1	Раз-ка алг-ма	6	С целью изучения существуют изобретенные методы рассмотрения и генерации сигналов. Сфера исследования и состав алгоритмов были отобраны подобным способом, для того чтобы предельно облегчить последующее применение.
Возможность реализации	0,5	В теч-и перв-х лет	10	Данная деятельность считается важным шагом осуществления плана, сконцентрированного в исследовании корреляционного течеискателя. При наличии незначительного финансирования, образец аппарата способен являться в ходе 2х лет

Таблица 27 - Расчет коэффициентов научного технического уровня

Фактор	Балл	Вес	Вклад в тех. уровень
Уров-нь новизны	4	0,4	1,6
Теор-й уровень	6	0,1	0,6
Возм-ть реализации	10	0,5	5,0
Итоговый результат:			7,2

Отталкиваясь от значений коэффициентов результата, делается вывод, что проделанная работа охарактеризована более среднего научного технического уровня, затем осуществляемый научный технический эффект производить нецелесообразно.

Наиболее детальное подтверждение подобранных баллов указывается далее. На основе балльных оценок, указанных в таблице ниже, был рассчитан показатель научной технологической степени НИР с учетом взвешенных коэффициентов. Вычисление коэффициента научной технологической степени отображается дальше.

### **3.17 Оценка экономического эффекта**

Как отмечалось ранее, данная работа приходится неким этапом создания проекта, целью которого является разработка течеискателя корреляционного типа. В данный момент, течепоисковый комплекс корреляционного типа представляются не менее эффективными и универсальными приборами обнаружения течи, которые применяются в жилищном коммунальном хозяйстве. Главным преимущественным показателем применения корреляционных течепоисковых комплексов при анализе трубопроводных сетей является достоверность определения (до двух метров при городском шуме) и продуктивность (поиск происходит за два-три часа). Недостатком таких приборов является большая цена и трудная модель использования работниками без надлежащего умения. Соответственно, передвижная лаборатория, комплектуется не дорогими отечественными системами обнаружения, с маленькими характеристиками эксплуатации и возможностями, это отражается на результатах анализа трубопроводных систем. Создание аппарата обнаружения утечки применяющего устройство частотно-временного корреляционного метода, дает возможность вывода на рынок нового устройства, характеристические показатели которого не хуже зарубежных аналогов, при небольшой стоимости.

Подобным способом, финансовый результат состоит в: 1) снижение цены анализа трубопроводных систем достигается из-за результата длительности событий исследования; 2) повышение правильности выявления зон истечения воды и сокращение вероятности выявления ошибочных течей

дадут возможность уменьшить расходы в предотвращении аварийных ситуаций, сопряженных с предоставлением допуска к трубопроводу.

Так как размер общественных трубопроводных сетей в РФ велик, а их положение —заставляет желать лучшего, вероятность оперативной ликвидации аварийного положения систем отсутствует. Таким образом введение наиболее результативной суммы денег для диагностики даст возможность помимо оперативного обнаружения утечек обнаружить незначительные дефекты, уменьшая потери жидкости и энергии

## **4 Социальная ответственность**

### **4.1 Краткое описание выполняемой работы**

Работа выполняется исключительно на компьютере, заключается в исследовании частотно-временной корреляционной функции и в исследовании влияния ширины оконной функции и влиянии ширины частотного интервала на результаты измерений.

Обеспечение производственной и экологической безопасности является необходимым условием реализации любых проектов, в том числе конструкторских и исследовательских. Обеспечение безопасности, в общем, предполагает создание безопасных и благоприятных рабочих условий для всех лиц, задействованных в работах, предусмотренных проектом, а также условий, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды.

Первичным этапом в задаче обеспечения безопасности труда является выявление возможных причин потенциальных несчастных случаев, производственных травм, профессиональных заболеваний, аварий и пожаров [19]. Дальнейшими этапами являются разработка мероприятий по устранению выявленных причин и их реализация. Потенциальные причины и риски, а также конкретный набор мероприятий по их устранению, определяются спецификой выполняемых работ и априорными условиями труда (в частности, видом и состоянием рабочих мест исполнителей) [19].

Данная квалификационная работа является необходимым этапом реализации проекта, предусматривающего разработку течепоискового комплекса, использующего оригинальные способы частотно временного корреляционного анализа для обработки данных, поступающих с обследуемого трубопровода. Непосредственно данная работа предполагает исследование свойств частотно-временных корреляционных функций, применительно к решению таких задач как обнаружение утечек в трубопроводах и диагностика машинного оборудования. В связи с тем, что на данном этапе реализации проекта в целом, отсутствуют условия для проведения

физических экспериментов (в частности, прототип устройства находится в разработке), основным подходом к проведению запланированных исследований является компьютерное моделирование. Таким образом, основными рабочими средствами, задействованными в данной работе, являются ПК.

#### **4.2 Общая характеристика рабочего помещения**

Основная часть данной квалификационной работы выполнялась десятом учебном корпусе ТПУ на кафедре Автоматики и Компьютерных Систем (АиКС) в аудитории № 117б. Выбор аудитории определялся наличием необходимого для выполнения поставленных задач программного обеспечения, а также графиком востребованности аудитории.

Общая площадь рабочего помещения составляет  $54 \text{ м}^2$  (длина  $a = 9 \text{ м}$ , ширина  $b = 6 \text{ м}$ ,  $h = 3,5 \text{ м}$ ), объем составляет  $189 \text{ м}^3$ . Аудитория рассчитана на одновременную работу групп до 8 человек. Таким образом, на каждого работающего приходится немного более  $6,5 \text{ м}^2$  общей площади и около  $24 \text{ м}^3$  общего объема.

Согласно СанПиН [18], санитарные нормы на одного человека составляют  $6,5 \text{ м}^2$  площади и  $20 \text{ м}^3$  объема. Таким образом, рабочее помещение полностью соответствует действующим санитарным нормам.

#### **4.3 Производственная безопасность**

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием различных опасных и вредных производственных факторов, оказывающих негативное влияние на работников. Под вредными факторами, понимают такие факторы трудового процесса и рабочей среды, которые характеризуются потенциальной опасностью для здоровья, в частности способствуют развитию каких-либо заболеваний, приводят к повышенной утомляемости и снижению работоспособности. При этом, вредные факторы

проявляются при определенных условиях таких как интенсивность и длительность воздействия. Опасные производственные факторы способны моментально оказать влияние на здоровье работника: привести к травмам, ожогам или к резкому ухудшению здоровья работников в результате отравления или облучения [19].

Таблица 28 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния подводного перехода нефтегазопровода

Источник фактора, наименование работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1) зачистка внутренней полости трубопровода от инородных предметов; 2) калибровка трубопровода; 3) обследование трубопровода; 4) обследование трубопровода корреляционным дефектоскопом течеискателем	1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; 2. Повышение уровней шума и вибрации; 3. Повышенная загазованность воздуха рабочего пространства.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток.	СанПиН 2.2.4 – 548 – 96 ГОСТ 12.1.003 – 83 ССБТ, ГОСТ 12.1.029 – 80 ССБТ ГОСТ 12.1.045 – 84 ССБТ СН 2.2.4/2.1.8.562–96 СП 51.13330.2011 СП 52.13330.2011

#### 4.3.1 Анализ вредных производственных факторов и санитарных норм

Как отмечалось ранее, важным этапом обеспечения производственной безопасности является анализ вредных производственных факторов и изучение вопроса производственной санитарии. В силу того, что специфика выполнения данной работы, предполагает продолжительную работу исполнителей с ПК, могут быть выделены следующие вредные производственные факторы:

- 1) Повышенный уровень электромагнитных и электростатических полей;
- 2) Повышенный уровень ионизирующих излучений;

- 3) Повышенный уровень шума и вибрации;
- 4) Отклонения показателей микроклимата;
- 5) Недостаточное освещение рабочей зоны;
- 6) Вредные психофизиологические факторы.

Далее производится анализ влияния перечисленных факторов и оценка их влияния на трудовой процесс, с учетом производимых мероприятий.

*а) Повышенный уровень электромагнитных излучений, электростатических полей, ионизирующих излучений*

Как правило, в качестве источника интенсивных электромагнитных полей рассматриваются токоведущие части действующих силовых установок. Однако в данном случае источниками электромагнитного излучения являются монитор и системный блок персонального компьютера. Вопрос о существенности влияния электромагнитного излучения современных персональных компьютеров на здоровье пользователя в настоящее время является дискуссионным и не находит однозначного ответа в научной и медицинской средах [20].

Действующими нормативными документами приводятся следующие требования к уровню электромагнитных полей при работе с компьютером [20]

Таблица 29 - Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

В силу принципиальных и конструктивных особенностей жидкокристаллических мониторов, наличие ионизирующего излучения исключается в связи с отсутствием потока электронов, обладающих высокой энергией (источник изображения мониторов с электронно-лучевой трубкой). Электростатический потенциал жидкокристаллических мониторов, так же является пренебрежимо малым (по оценкам в том числе, разработчиков серии



стандартов ТСО) и не требует проведения таких мероприятий как увлажнение поверхности экрана или повышение влажности воздуха в помещении.

Для снижения воздействия существующих типов излучения рекомендуется применять мониторы с пониженным уровнем излучения, соответствующих современным, распространенным в мире экологическим стандартам (таким как MRP-II, ТСО-99). В случае невозможности замены устройств, комплектовать имеющиеся защитными экранами. В качестве организационных мер, направленных на минимизацию негативного воздействия на здоровье работников, рекомендуется регламентировать и соблюдать режимы труда и отдыха [20]. Для снижения влияния излучения, источником которого являются соседние рабочие места, размещение ПК соседних осуществляется на расстоянии не менее чем 1,2 м.

Рабочие места исполнителей, удовлетворяют всем перечисленным требованиям: используются современные жидкокристаллические мониторы, удовлетворяющие нормативным требованиям по показателям напряженности электрических полей (в соответствии с ТСО '03); расположение ПК соответствует приводящимся в методической литературе [18] правилам; в рабочем графике, предусмотрены кратковременные перерывы.

#### *б) Регламентирование режимов труда и отдыха при организации работы*

Несоблюдения режимов труда и отдыха при работе за компьютером может привести к перенапряжению зрительного аппарата, нарушению сна, возникновению болезненных ощущений в глазах, пояснице, шеи и руках. В связи с этим, санитарные нормы [17] регламентирует длительность перерывов при работе за компьютером в зависимости от продолжительности рабочей смены, видов и категорий трудовой деятельности с видеодисплейным терминалом и персональным ЭВМ.

Таблица 30 - Время регламентированных перерывов при работе на компьютере

Категория работы с ВДТ или ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы с ВДТ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часов	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2,0	30	70
II	до 40 000	до 30 000	до 4,0	50	90
III	до 60 000	до 40 000	до 6,0	70	120

Выполнение исследований предусмотренных данной работы, может быть классифицировано как относящееся к группе В («творческая работа в форме диалога с ПК»). Так как выполнение задач предполагает значительное время работы с ПК, нагрузка соответствует категории II. Таким образом, через 2 часа после работы, регламентируются 10 минутные перерывы каждый последующий час [17]. При выполнении работ перерывы сочетались с выполнением ряда расслабляющих упражнений для глаз, с целью повышения эффективности отдыха и снижения негативного влияния на зрительную систему.

#### *в) Повышенный уровень шума и вибрации*

Вредным производственным фактором также является шум, что связано с его негативным воздействием на организм человека. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все перечисленное является причиной снижения работоспособности человека и приводит к падению производительности [22].

В соответствии с [17], при выполнении работы на ПК (ПЭВМ) уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ А. В залах обработки информации посредством вычислительных машин – 65 дБ А. Согласно [21]

защита от шума должна обеспечиваться разработкой и применением шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной защиты. В частности, для снижения уровня шума стены и потолки помещений могут быть облицованы звукопоглощающими материалами. Уровень вибрации в помещениях может быть снижен путем виброизоляции создающих шумы устройств.

В рабочем помещении, в котором происходило выполнение данной работы, уровень шума и вибрации находился в пределах нормы.

#### *г) Отклонение показателей микроклимата*

Одним из необходимых благоприятных условий труда является обеспечение в помещениях нормальных метеорологических условий, оказывающих существенное влияние на тепловое самочувствие человека. Метеорологические условия в производственных помещениях (микроклимат), зависят от ряда особенностей технологического процесса, а также внешних условий (климата, сезона, условий вентиляции и отопления).

Микроклимат производственных помещений определяется следующими показателями: температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха. Оптимальное сочетание перечисленных параметров обеспечивает нормальный теплообмен человека с окружающей средой и оказывает позитивное влияние на его самочувствие [18]. Оптимальные значения перечисленных параметров для работ с ПК, установленные санитарными нормами [17, 19], приведены в таблице.

Таблица 31 - Оптимальные значения показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	19-26	40-60	0,1
Теплый	23-25	20-29	40-60	0,1

В рабочем помещении исполнителей поддерживались благоприятные условия микроклимата, за счет функционирования систем вентиляции и отопления корпуса в целом.

*д) Эргономические требования к рабочему месту*

Рабочее место и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям с учетом характера выполняемой работы. В частности, при организации рабочего места инженера-программиста должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения.

В частности, эргономическими аспектами проектирования рабочих мест являются [23]:

- высота рабочей поверхности;
- размеры пространства для ног;
- требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.);
- характеристики рабочего кресла;
- требования к поверхности рабочего стола;
- регулируемость элементов рабочего места.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим требованиям [23]:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков.
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650мм.

Важное значение с точки зрения эргономики имеют характеристики рабочего кресла. Так, рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420-550 мм. Поверхность сиденья мягкая, передний край закругленный, а угол наклона спинки - регулируемый.

Согласно [5], существенное влияние на производительность и качество работы на компьютере оказывают размеры знаков, плотность их размещения, контраст и соотношение яркостей символов и фона экрана. Если расстояние от глаз оператора до экрана дисплея составляет 60...80 см, то высота знака должна быть не менее 3 мм, оптимальное соотношение ширины и высоты знака составляет 3:4, а расстояние между знаками – 15...20% их высоты. Соотношение яркости фона экрана и символов - от 1:2 до 1:15 [5]. В ходе выполнения работы, программный код, а также интерфейсы рабочих сред оформлялись шрифтами TimesNewRoman, Cambria, Arial размером 10-14 pt. Таким образом, начертание символов удовлетворяет соотношениям ширины и высоты. Метрический размер составляет 3,5-5 мм.

Рабочие места в аудитории № 1176 десятого корпуса ТПУ отвечает всем приведенным требованиям эргономичности.

#### *е) Недостаточная освещенность рабочей зоны*

Качество информации, получаемой посредством зрения, во многом зависит от освещения, что особенно актуально при продолжительной работе за компьютером. Известно, что недостаточное освещение затрудняет восприятие информации, а также приводит к утомлению зрительных анализаторов и организма человека в целом. Длительная работа в условиях

недостаточной освещенности может привести к раздражительности и не удовлетворенности работой и негативно сказаться на производительности труда [18].

Согласно [17] помещения, предназначенные для выполнения работ на ПК, должны иметь как естественное так и искусственное освещение. В частности, в документе приводятся следующие требования: освещенность на уровне рабочей поверхности должна составлять 300-500 лк; яркость светящихся поверхностей (окон, светильников.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>; освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк; яркость бликов на экране монитора не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>; яркость потолка не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup>. Кроме того, коэффициент естественной освещенности КЕО в помещениях с использованием ПК должен быть не ниже 1,2%.

Далее производится расчет искусственного освещения рабочей аудитории, которая характеризуется следующими размерами: длина  $a = 9$  м, ширина  $b = 6$  м,  $h = 3,5$  м. Целью данных расчетов является оценка соответствия искусственного освещения существующим рекомендациям. В аудитории предусмотрено общее равномерное освещение, для которого применяются люминесцентные лампы типа ЛБ (лампы белого цвета), для которых используются светильники типа ОД - 2-30 (длинной 933 мм, шириной 204 мм).

Согласно рекомендациям, оптимальное размещение светильников в помещении определяется следующими геометрическими параметрами помещения [24]:

$H$ -высота помещения (3,5 м);

$h_c = H - h_n$ - расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n$ - высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p$ - высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p$  - расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

$L$  - расстояние между соседними светильниками или рядами;

$l$  - расстояние от крайних светильников или рядов до стены (согласно рекомендациям, данным в [24] принимается равенство  $l = L/3$ ).

Также учитывается критерий интегральный критерий оптимальности расположения светильников в помещении  $\lambda$  (оптимальность заключается в компромиссе стоимости оборудования и его обслуживания и равномерности производимого света). Согласно [5], для обозначенного типа светильников  $\lambda = 1,4$ .

Для светильников типа ОД - 2-30 и заданного размера помещения характерны следующие значения обозначенных параметров:  $h_n = 3,5\text{м}$ ;  $h_c = 0$ ;  $h_p = 1,5\text{м}$ ;  $h = 2\text{м}$ ;  $L = \lambda \cdot h = 2,8\text{м}$ .

В силу того, что помещение имеют прямоугольную форму, расстояние до крайних рядов светильников различны:  $l_a = L/3 = 0,93\text{м}$ ;  $l_b = (b - L - w)/2 = 1,39\text{м}$ , где  $w$  – суммарная ширина предполагаемых рядов светильников (0,408м).

На основе данных расчетов рекомендуется разместить светильники в 2 ряда, в каждом из которых нужно установить 6 светильников типа ОД - 2 мощностью 30 Вт (см. рисунок 3.1). При этом разрывы между светильниками в ряду составят 0,30 м. Учитывая, что в каждом светильнике установлено по две лампы, общее число ламп в помещении составит 24.

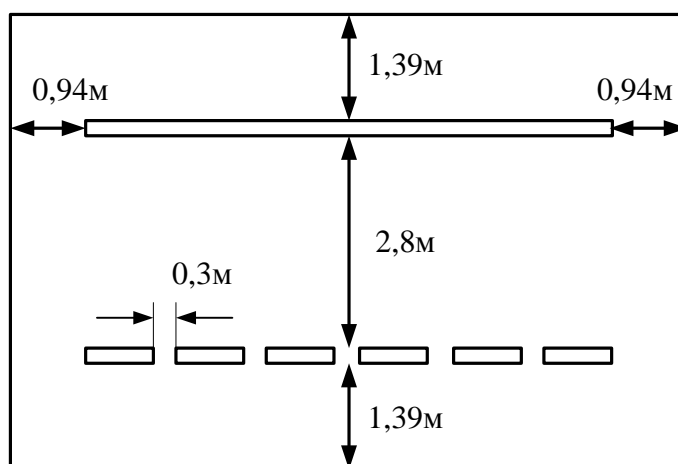


Рисунок 41 - План размещения светильников в помещении

Расчет общего равномерного освещения выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен [19]. Световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$F = \frac{E_n * S * K_3 * Z}{n * \eta} \quad (4.1)$$

Где  $E_n$  - нормируемая минимальная освещенность (для данной категории помещений  $E_n = 300$  лк);

$S$  - площадь освещаемого помещения ( $54 \text{ м}^2$ );  $K_3$  - коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, запыленность ( $K_3 = 1,5$  - для помещений с малым выделением пыли);  $Z$  - коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных ламп берется равным 1,1);  $n$  - число ламп ( $n = 24$ );  $\eta$  - коэффициент использования светового потока - показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность.

Степень использования светового потока ламп в помещении зависит как от геометрии помещения (площади ( $S$ ), линейных размеров ( $a, b$ ), высоты уровня светильников над рабочей поверхностью ( $h$ )), так и от коэффициентов отражения стен  $p_c$  и потолка  $p_n$ . Учет геометрии помещения осуществляется, с помощью индекса помещения, вычисляемого по формуле:

$$i = \frac{S}{h * (a + b)} \quad (4.2)$$

Учитывая, параметры помещения, приведенные выше -  $i = 1,8 \text{ м}$ . Коэффициенты отражения  $p_c$  и  $p_n$  имеют следующие значения [9]:  $p_c = 70\%$  (стены свежепобеленные с окнами закрытыми шторами);  $p_n = 70\%$  (потолок свежепобеленный). Согласно таблице коэффициентов использования светового потока, с люминесцентными лампами приведенной в [24] имеем  $\eta = 53\%$ .

Возвращаясь, получим  $F = 2101$  лк. Таким образом, исходя из известного типа лампы, а также вычисленного необходимого светового потока, может быть подобрана стандартная лампа, удовлетворяющая



требованиям освещенности помещения. Согласно [24], ближайшей подходящей стандартной лампой является - ЛБ 30 Вт с потоком 2180 лк. Напряжение сети 220 В, напряжение на лампе 104 В

По результатам вышеприведенного анализа, может быть сделан вывод, что интенсивность искусственного освещения удовлетворяет требованиям, предъявляемым к помещениям данного типа. Фактическое расположение светильников, а также световая характеристика ламп и их номинальная мощность соответствуют приводимым в [24] рекомендациям по подбору, комплектации и расположению светильников для качественной организации освещения. Стоит отметить, что рассматриваемая аудитория имеет крупное окно, занимающее значительную часть площади восточной стены, таким образом, освещение может считаться комбинированным. Для улучшения использования светового потока, окно снабжено занавесками в качестве которых выступают белые жалюзи. В целом, организация освещения в рабочей аудитории является удовлетворительной.

В ходе выполнения работы, принятые меры позволяют констатировать наличие созданной благоприятной рабочей среды в ходе выполнения данной работы.

#### **4.2.2 Анализ опасных производственных факторов и техника безопасности.**

К числу опасных производственных факторов, характерных для рабочего места инженера-программиста, относится электрический ток. Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от рода и величины напряжения и тока, а также от частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности его воздействия на организм человека, условий внешней среды [10]. В частности, электрический ток, протекая через тело человека, производит термическое, механическое и световое воздействие (электролитическое разложение жидкости, в том числе и крови, судорожное сокращение мышц, разрыв тканей и поражение глаз).

С точки зрения электробезопасности, лаборатория № 1176 десятого корпуса ТПУ относится к категории помещений без повышенной опасности, т.к. ее можно охарактеризовать как сухое (относительная влажность воздуха не превышает 60%), беспыльное помещение с нормальной температурой воздуха (+24<sup>0</sup>С), с изолирующими сухими бетонными полами, покрытыми линолеумом. Единственным типом технологического электрооборудования присутствующим в рабочем помещении является вычислительная техника (персональные компьютеры). Таким образом, все применяемое для работы электрооборудование имеет напряжение питания до 1000 В и малое выходное напряжение преобразовательных элементов (например, блока питания ПК - 5-25 В). В связи выше обозначенными обстоятельствами, в целом, уровень электрической опасности рабочего помещения можно расценивать как низкий.

С целью предупреждения электротравматизма среди исполнителей проводился инструктаж по технике безопасности, в котором декларировались основные методы избегания поражения электрическим током. В частности, были обозначены следующие положения:

- запрещается пользоваться электрическими розетками без защитных изолирующих кожухов или с неисправными кожухами;
- запрещается включать в электросеть ПК с оголенными проводами и токоведущими частями электрических устройств;
- запрещается вытягивать вилку из розетки за шнур;
- запрещается работать на ПК со снятыми облицовочными частями;
- запрещается закладывать провода и шнуры за водопроводные трубы и батареи отопления;
- запрещается оставлять ПК включенным в сеть при длительном перерыве в работе и при пропадании напряжения в сети.

Таким образом, проведенные мероприятия могут считаться достаточными для минимизации риска поражения исполнителей электрическим током на рабочем месте.

#### **4.3 Экологическая безопасность и охрана окружающей среды**

В настоящее время обеспечение экологической безопасности и защита окружающей среды являются важным аспектом любой технологической деятельности. Меры, принимаемые для повышения экологической безопасности, в основном заключаются в снижении уровня загрязнения окружающей среды. Все загрязнения могут быть классифицированы в соответствии с типом загрязняемой среды: 1) загрязнения литосферы (почвы); 2) загрязнение гидросферы; 3) загрязнения атмосферы.

Загрязнения атмосферы, в результате искусственной вентиляции воздуха, и загрязнения гидросферы, в результате выхода производимых в процессе жизнедеятельности сотрудников сточных вод, не связаны непосредственно с реализацией данной работы и имеют отношения к работе десятого учебного корпуса в целом. При этом, влияние указанных факторов на глобальную и локальную экологическую обстановку незначительно при отсутствии аварийных ситуаций. Это связано, с отсутствием в здании, каких либо технологических линий, работа которых, сопровождается выбросом жидких или газообразных отходов.

Непосредственно с выполнением данной работы, могут быть связаны негативно влияющие на экологию факторы, сопутствующие эксплуатации ПК. В частности, аспектами негативного влияния являются, отходы и выбросы, имеющие место на этапе производства ПК, а также отходы, связанные с неполной их утилизацией. Кроме того, компьютерная техника является набором приборов, потребляющих электроэнергию, в связи с чем, нерациональное их использование может быть также расценено, как необоснованная нагрузка на окружающую среду.

На основе выполненного анализа влияния компьютерной техники на окружающую среду, стоит отметить, что современные ПК, практически не оказывают негативного влияния на окружающую среду, посредством электромагнитных (в разных диапазонах частот спектра) излучениях. Кроме того, для современных ПК характерен низкий уровень производимых шумов.

Таким образом, при дальнейшем рассмотрении проблемы целесообразно остановиться на последних двух факторах влияния.

В связи с тем, что в настоящее время продолжается интенсивное развитие компьютерной техники, сопровождающееся расширением круга решаемых задач, происходит быстрое устаревание как аппаратной части компьютеров, так и их программного обеспечения. Лаборатории вычислительной техники, в одной из которых производилось выполнение данной работы, для создания условий для проведения научно-исследовательских работ должны комплектоваться относительно современной техникой и разнообразным, актуальным программным обеспечением. Это, в частности, означает необходимость периодической (раз в несколько лет) замены используемых компьютеров. Таким образом, возникает проблема утилизации устаревшей техники, которая в соответствии со своими масштабами не может быть решена в рамках данной работы и должна решаться на уровне ТПУ в целом.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (техногенного, природного, социального характера)**

К чрезвычайным ситуациям, которые могут возникнуть при проведении лабораторных исследований посредством организации вычислительных экспериментов, относится возникновение пожаров и взрывов. Возникновение чрезвычайных ситуаций другого рода является маловероятным, в силу специфики географического положения десятого корпуса ТПУ и стабильной социально-экономической ситуации на территории Томской области.

Пожары в помещениях с компьютерами представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность таких помещений – небольшие площади помещений. Известно, что пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окисления и источников зажигания. В помещениях, где

стоят компьютеры, присутствуют все три основных фактора, необходимые для возникновения пожара. Комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного его тушения, называют противопожарной защитой [17]. В рамках противопожарной защиты, как правило, проводятся следующие мероприятия:

1. Организационные: к ним относятся обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности, инструкций правильной эксплуатации рабочего оборудования, разработка планов эвакуации людей и т.д. Разработанный план эвакуации людей из рабочей аудитории.

2. Технические: к ним относятся выбор и использование современных автоматических средств сигнализации, автоматических стационарных систем тушения пожаров, первичных средств пожаротушения, разработка методов и применение устройств ограничения распространения огня и т.п.

В качестве технических средств тушения пожаров, предназначенных для локализации небольших возгораний, относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и т. п. В зданиях, где располагаются помещения, в которых находятся компьютеры, пожарные краны устанавливаются в коридорах, на площадках лестничных клеток и входов. В качестве первичных средств пожаротушения в аудитории используются 2 порошковых огнетушителя ОПС-6, предназначенные для применения при тушении горящих щелочных металлов. В качестве источника воды при пожаре предполагается использование пожарного гидранта, расположенного в пожарном щитке в конце коридора (на плане, напротив аудитории 103а). Помимо гидранта, пожарный щиток укомплектован набором инструментов (топор, саперная лопата).

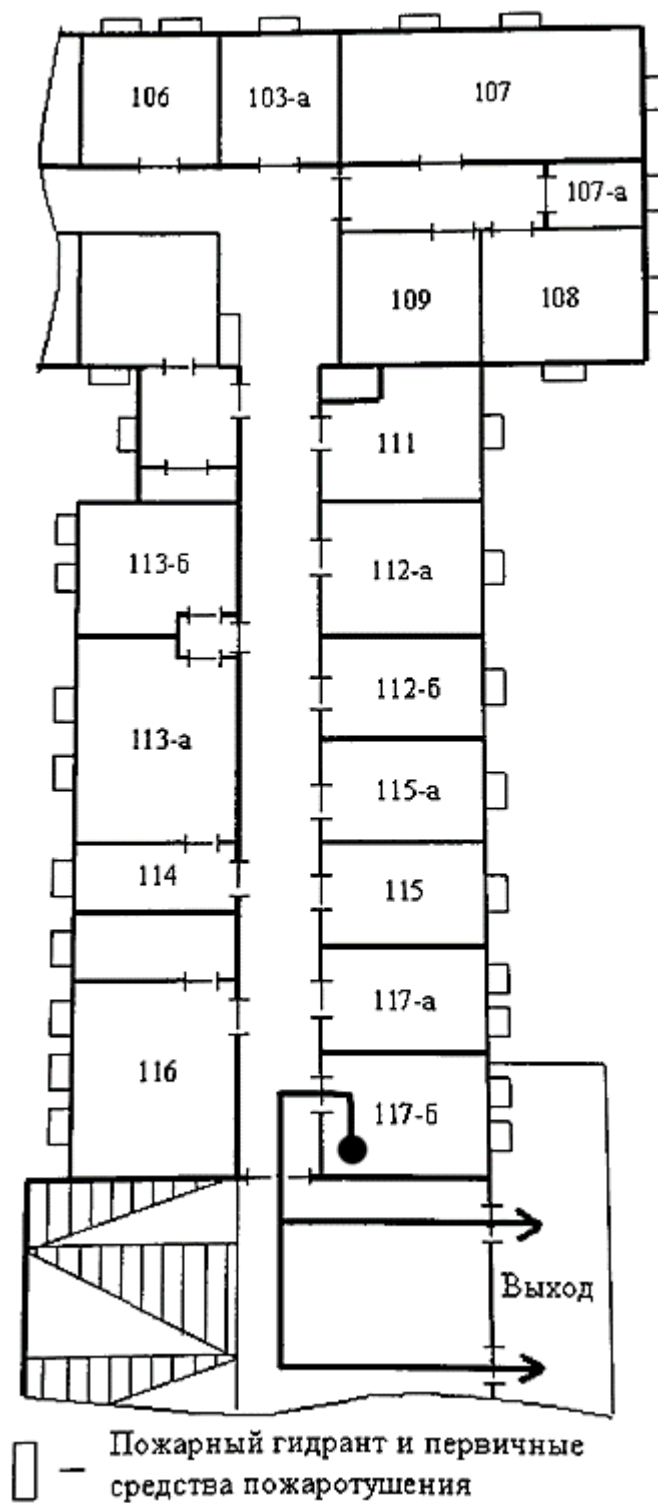


Рисунок 42 – Фрагмент плана эвакуации (Корпус ТПУ №10, правое крыло, первый этаж)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы рассматривалась проблема обнаружения и исследования сигналов, оценивались параметры влияния ширины оконной функции на показатели в результате полученных измерений.

Важной задачей остается подбор ширины оконной функции быстрого преобразования Фурье, как видно из рисунка 27, оказывает влияние на эффективность корреляционного анализа. Соответственно, вычислительные затраты, производимые на вычисление БПФ, а также сложность визуализации результатов также зависят от величины  $N$  (ширины окна).

Таким образом, выбор значения  $N$ , как правило, представляет собой компромисс между вычислительной сложностью и сложностью визуализации, и помехоустойчивостью и разрешающей способностью по частоте метода. В данной работе, при проведении исследований используется значение  $N = 2^{14}$ , что обуславливается относительно выбранной средой реализации алгоритмов, а также недостатком ресурсов ПК (в особенности, объема оперативной памяти).

Согласно результатам опытных исследований трубопроводов, ширина спектра полезного сигнала утечки, как правило, составляет 1,5-3 кГц. Таким образом, для решения многих практических задач достаточно производить изменение ширины частотного интервала при вычислении частотно-временной корреляционной функции в диапазоне от 500 Гц до 2 кГц.

Кроме того, выбор малых величин частотных интервалов (100-250 Гц) приводит к уравниванию поверхности функции в полосе полезного сигнала и затрудняет определение границ спектра сигнала. В тоже время, выбор больших величин частотных интервалов (от 2000 Гц) приводит к растягиванию пика функции не только вдоль оси частот, но также и вдоль оси времени, снижая информативность графики (см. рисунки 24, 25).

Увеличение ширины окна БПФ приводит к большей помехоустойчивости, о чем свидетельствуют данные в таблице 2. Стоит отметить, что уменьшении энергии основной гармоники в спектре сигнала с

увеличением  $N$  связано с уменьшением шумовой составляющей, присутствующей на частоте гармоник.



## CONCLUSION

In the course of this work, the problem of detection and investigation of signals was considered, the parameters of the influence of the width of the window function on the parameters as a result of the obtained measurements were evaluated.

An important task is the selection of the width of the window function of the fast Fourier transform, as can be seen from Figure 27, has an impact on the efficiency of the correlation analysis. Accordingly, the computational costs incurred for calculating the FFT, as well as the complexity of visualizing the results, also depend on the value of  $N$  (window width).

Thus, the choice of the  $N$  value, as a rule, is a compromise between computational complexity and visualization complexity, and noise immunity and frequency resolution of the method. In this work, when conducting research, the value  $N = 2^{14}$  is used, which is caused by the chosen environment for the implementation of the algorithms, as well as by the lack of PC resources (especially the amount of RAM).

According to the results of experimental studies of pipelines, the width of the spectrum of the useful signal leakage, as a rule, is 1.5-3 kHz. Thus, to solve many practical problems, it is sufficient to change the width of the frequency interval when calculating the time-frequency correlation function in the range from 500 Hz to 2 kHz.

In addition, the choice of small values of frequency intervals (100-250 Hz) leads to the equalization of the surface of the function in the band of the useful signal and makes it difficult to determine the boundaries of the signal spectrum. At the same time, the choice of large values of frequency intervals (from 2000 Hz) leads to stretching the peak of the function not only along the frequency axis, but also along the time axis, reducing the informativeness of the graphics (see Figures 24, 25).

Increasing the width of the FFT window leads to greater noise immunity, as evidenced by the data in Table 2. It is worth noting that the decrease in the energy of the main harmonic in the signal spectrum with increasing  $N$  is associated with a decrease in the noise component present at the harmonic frequency.

## Список использованных источников

1. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Черемнов А.Г. Способы повышения эффективности вычисления быстрого преобразования Фурье // Интернет-журнал «Науковедение» [Электронный ресурс] – 2013. - №3. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/16tvn313.pdf> (последнее обращение 05.05.2019).
2. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1989. – 448 с.
3. Теория и практика цифровой обработки сигналов. Некоторые оконные функции и их параметры [Электронный ресурс] // Библиотека цифровой обработки сигналов. – URL: <http://www.dsplib.ru/content/winadd/win.html> (последнее обращение 05.05.2019).
4. Овчинников А.Л., Лапшин Б.М., Чекалин А.С., Евсиков А.С. Опыт применения течеискателя ТАК-2005 в городском трубопроводном хозяйстве // Известия Томского политехнического университета, 2008. -т. 312 -№ 2 - с. 196-202.
5. Способ частотно-временного корреляционного анализа цифровых сигналов: пат. 2405163 Рос. Федерация. № 2009118627/28; заявл. 18.05.09; опубл. 27.11.09, Бюл. № 33. –10 с.
6. Рандалл Р.Б. Частотный анализ. Копенгаген: Брюль и Кьер - 1989. – 389 с.
7. Черемнов А.Г., Аврамчук В.С.. Особенности реализации алгоритма Кули-Тьюки на многоядерной вычислительной // Технологии Microsoft в теории и практике программирования . — Томск : Изд-во ТПУ , 2013 . — С. 78-80.
8. Чан Вьет Тьяу. Частотно-временной корреляционный анализ в аппаратно-программных средствах локализации утечек трубопроводных систем : диссертационная работа кандидата тех. наук. Томский Политехнический Университет, Томск, 2011.

9. Колоколов А. С. Обработка сигнала в частотной области при распознавании речи // Проблемы управления. – 2006. - № 3. – С. 13-18.
10. Тузов Г. И. Статистическая теория приема сложных сигналов. - М. : «Советское радио», 1977. – 400 с.
11. Мамонова Т. Е. Методы диагностики линейной части нефтепроводов для обнаружения утечек // Проблемы информатики. – 2012. - №5. – С. 103-112.
12. Аврамчук В.С., Чан В.Т. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета – 2009. – № 5. – Т. 315 – С. 112-115.
13. Лапшин Б.М., Овчинников А.Л. Исследование распределения энергии сигнала акустической эмиссии по отдельным модам в жидкостном волноводе. // тез. докл. 15 Российской научно-технической конференции -
15. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебнометодическое пособие. – Томск, изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
16. Таблица окладов ППС и НС // Официальный сайт плановофинансового отдела ТПУ. URL: [http://portal.tpu.ru:7777/departments/otdel/peo/documents/Tab1/oklad\\_2015.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/departments/otdel/peo/documents/Tab1/oklad_2015.pdf) (Дата обращения: 02.05.2019).
17. Сибаров Ю.Г. Охрана труда в вычислительных центрах. - М.: Машиностроение, 1990. - 192 с.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомэпиднадзор, 2003.
19. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович. Томский политехнический университет. – 3-е изд. – Томск: изд-во ТПУ, 2013 – 178с.
20. Седов Д.С., Махина В.И., Иванченко М.Н. Влияние электромагнитного излучения, создаваемого персональным компьютером, на

здоровье человека // Бюллетень Медицинских Интернет-Конференций, 2012. - № 11. – Т. 2 – С. 920-923.

21. ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». - М.: Госстандарт России, 1988.

22. СанПиН 2.2.4.548-96 «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы». - М.: Госкомсанэпиднадзор РФ, 1996.

23. Зинченко В.П. Основы эргономики: учебное пособие / В.П. Зинченко, В.М. Мунипов. – М.:Изд-во МГУ, 1979. – 343 с.

24. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 15 с

25. ГОСТ Р 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты». - М.: Госстандарт России, 1985

26. ГОСТ Р 12.1.019-2009. «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». - М.: Госстандарт России, 2010.

27. Влияние бытовых приборов на здоровье человека / Копылова М.Ю., Липикина М.В., Никулина Т.В. и др. // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: 6 всерос. науч.-практ. конф., 17-18 февраля 2005 г.: сборник трудов. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2006. – С. 130-133.

28. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности», ГУГПС МВД РФ, 2003.

**Приложение А Investigation of the time-frequency correlation  
function in leak detection problems**

(Обязательное)

Part 3

Investigation of the time-frequency correlation function in leak detection problems

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Шишло Артем Владимирович.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ИЯ	Сидоренко Т.В..	к.п.н		

## **A.1 General description of work**

**Relevance of the topic.** The detection and localization of leaks is a complex and difficult task of the past and present. The Ministry of Energy of the Russian Federation provides data for 2002 on the failure of 15% of facilities and engineering networks. Every year, 7 malfunctions are recorded on a section of ten kilometers of heating networks, without taking into account possible defects, which subsequently entail a malfunction, and, ultimately, breakdown and the need for emergency troubleshooting. In 2010, the head of the Ministry of Regional Development Basargin announced that thermal communications that had served their time increased to 32.7%, plumbing - 43.9%, without taking into account possible hidden defects that can be seen through the use of a correlation-acoustic leak detector. At the moment, the market is filled with a variety of Russian and foreign devices for localizing leakage of pipeline networks. The devices have similar functionality, similar performance indicators, differing in completeness [1]. composition and structure, various characteristic indicators and price. Note that the methods of working with signals and the software part contribute to more accurate analytical actions. Based on this, innovations that provide originality of solutions for signal analysis [2] have a strong argument in competitiveness. Often, to eliminate an accident, it is necessary to perform a number of operations, including excavation of the pipeline in hard-to-reach areas, such as road bed, settlements, etc., therefore visual detection of an emergency site. These procedures entail dismantling, payment for work, and, consequently, remedial actions.

The state of pipeline networks leaves much to be desired in terms of the development and finding of newer methods and means of timely detection of possible defects that entail malfunctions, therefore, economic costs. At the moment, there are many possible localization options for defective and emergency sites that have obvious special differences and noticeable flaws. At the moment, two types of flaw detectors are known and distributed: acoustic type and correlation-acoustic. The first one is based on the principle of linear listening to the line of pipes and localizing

the high point of the acoustic signal. The lack of a method and instrumentation indicates a slight sensitivity of the signal, due to noise, signal distortion, through the noise of the main circuits of vehicles, cavitation interference, etc. Correlation-acoustic method, the foundation of which is the informative component, obtained from two sensors located at a distance from each other on the pipeline, based on the construction of the cross-correlation function to calculate the location of the emergency section. This method assumes a more accurate definition of a weak spot, but the external environmental factors also retain their strength, as in the acoustic method.

The purpose of work is a calculating method. Localizing pipeline leaks based on the coherence function, which determines the defect and the correlation function, which localizes the finding of the breakdown.

### **A 1.2 Signal generation**

The most common type of accident in plumbing systems is a deformation and destruction of pipe thickness, which leads to outflow of water, oil and other liquids. The main danger of such an emergency is invisibility of cracks and defects in the pipeline. In addition, during a long-term process of fluid outflow, negative factors occur, affecting the eroded soil, marshland is formed, water is lost, and, as a result, affects the quality of fluid.

To find faults and leaks, a variety of research tools using for the vulnerable part of the network, including a correlation leak detector [3]. The high accuracy and high sensitivity of leak detectors is a distinctive advantage, [3], which allows locating a leak with a low flow rate. An important advantage lies in the possibility of carrying out search activities without stopping the flow of fluid in the pipeline and without completely digging the line.

The principle of operation of the flaw detector is based on the localization of the noisy zone. Noisy zones are formed in the pipe when there is a breakdown or defect. The problem area is searched for by a pair of vibroacoustic sensors that are equidistant from each other. [4]. Signal arising from the leakage is weak, with the help of

correlation; it is possible to obtain information about the place of outflow of the fluid. The principle of operation of the leak detector shown in Figure A.1.

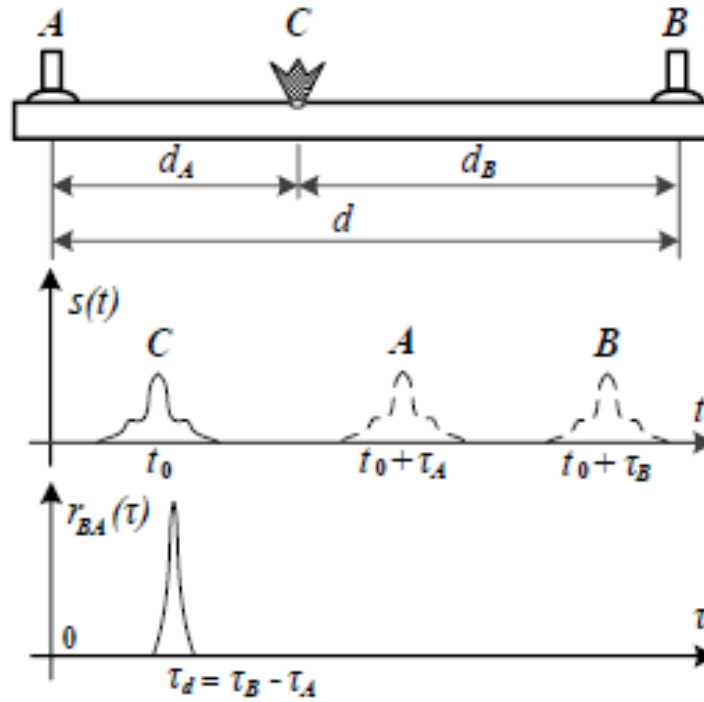


Figure A.1 - The principle of operation of the leak detector, using the cross-correlation function.

Sensors A and B are equidistant along the pipeline laying line, the distance between them is indicated by  $d$ . Point C shows the presence of breakdown, acoustic emission. Below is a timing diagram of the signal indicators of fluid flow (C, A, B). The graph below shows the function of mutual correlation between signal A and signal B, starting from the position of the maximum point and determining the time offset, based on this, the interval to leakage is calculated [4].

The mathematical description is given to the initialization of the correlation function, finding the maximum point, calculating the gap before the breakdown in the pipe. We define the correlation function, respectively

$$r_{BA}(\tau) = \int_{t_1}^{t_2} S_B(\tau) * S_A(t + \tau) dt \quad (1)$$

Where  $S(A, B)(t)$  - signal indicators of sensor A and sensor B (Figure 1).  $t_{1,2}$  - the value of the integration time. To determine the distance to the leak use

$$d_{A,B} = \frac{d \pm \tau_d * v}{2} \quad (2)$$



Where  $\tau_d$  is the temporal displacement,  $v$  is an indicator of the velocity of the propagating acoustics signal emanating from the sensors propagating along the pipe. These manipulations with signals are digitized, using special software. It is necessary to take into account the qualitative indicators of the implementation of algorithmic actions that affect the sensitivity values, more accurate determination of leaks, and resistance to interference [5].

In order to compare the available market programs for the correlation analysis of signals in program development, one can conduct test experiments using stands or field work [6]. Another approach, abstracted from negative influences programmatically by creating a time series, accompanying the signals of fluid flow. The difficulties in the operation of this approach are based on complex and diverse mathematical models of hydrodynamic systems, for example, the pipeline under study.

The generation and propagation of signals are subject to distortion due to the geometrical factors of the pipe structure, thickness and material used to create the pipeline. Also, the influence of the density of the adjacent soil and the density of the flowing fluid contribute characteristic features to the received signal [6].

Consider the process of generating a test signal that is close to real, designed to debug and evaluate the effectiveness of the correlator. Functionality:

1. generating a simulation digital signal of a defect, where the discretization frequency  $f_d$  is specified. The pseudo-random sequence is filtered in a given frequency range  $[f(n), f(in)]$  and the rationing of energy indicators is performed. Frequency range selected accordingly [7, 8].

Where  $P$  is the pressure indicator inside the pipeline,  $P_{atm}$  is the atmospheric pressure,  $\rho$  is the density of the liquid,  $d$  is the hole diameter parameter, the numerator coefficient indicates the average value of the flow coefficient.

2. Simulation of a delayed signal indicator of the outflow of fluid directed to the place of measurement of the leak detector.

3. Mixing of signals carrying information and additive noise with a given power spectral density.

4. The file is generated and saved in the .wav format.

Algorithms are used to form a test signal used to debug the mathematical core of the flaw detector program. Correlation analysis to solve the problem of finding the outgoing signal leakage

To extract data from signals that are used for digital processing, correlation analysis finds its place. As mentioned earlier, when a correlation analysis is performed, it is worth paying attention to the maximum point of the correlation function. This maximum indicates the location of the defect in the pipe during diagnostic activities.

The specific task of working with signals is to conduct actions with mixed signals [9] the various low signal interconnection and noise of their power. There are noisy sections of the pipeline, non-correlated noise recorded by different measurement channels, the maximum of the correlation function may be imperceptible. It is possible to determine the maximum point of the correlation function using a complex method that allows analyzing the obtained measurements using a visual study of the graphical indicators of the correlation function. To quantify the differences in the highs is possible by means of calculation using a ratio.

With I, we evaluate information content quantitatively,  $r_{\max}$  represents the maximum value of the correlation function,  $\sigma_r$  is the average square of the values of the correlation function. In a similar way, questions of the input signal of a given form in radio engineering [10] were solved. Also, this method has found its application in working with digital signals [11].

### **A 1.3 Short Signal Analysis**

Correlation analysis, as mentioned earlier, leads to the creation of an algorithm based on finding the maximum of the correlation function  $r_{12}(j)$ , signals in digitized form  $\xi_{1,2}(i)$  with  $(i = 0, 1, \dots, N-1)$ .

Where  $F$  is the Discrete Fourier transform, the direct (DFT),  $F^*(-1)$  is the inverse.  $F^*$  - result in a complex conjugate form.  $N_0$  is the width of the discrete Fourier transform window,  $K = N / N_0$  is the number of windows of the discrete Fourier transform, where the window width  $N_0$  is indicated.

In order to use (5), a useful leakage signal should be made in a stationary form at the input of the correlator. By a stationary form of a useful signal of a leak we mean the invariance of the spectrum of amplitude and frequency in an acoustic signal emanating from a source, which is a breakdown or defect in a pipeline.

Signals that are amenable to analysis are considered to be quasi-stationary, due to the fact that they are stationary in the interval of a short duration of time. Therefore, it becomes necessary to limit the duration of the analyzed signal  $T$ , as well as for the duration of the sample being studied.

With  $f_d$  - denoting the sampling rate,  $N$  - the sample size for the study affects the quality of analysis, due to the use of averaging the correlation function in (5) using coherence, which helps suppress noise at the outputs of the correlators and accompanies the definition of the maximum point on the correlation graph [12].

Also, understanding the peculiarities of pipeline systems and possible conditions that prevent testing for defects in a pipe, when a leak signal is found, there may be a case when the maximum of the correlation function becomes difficult to distinguish or there are several maxima. In this situation, ambiguous determination of the location of the maximum is possible [13]. In order to solve this issue, various methods are used, aimed at additional investigation of the signal, based on the use of spectrum information, for example, they resort to calculating time-frequency correlation functions [14]. At the moment, if  $N$  is not large, then the above may be ineffective.

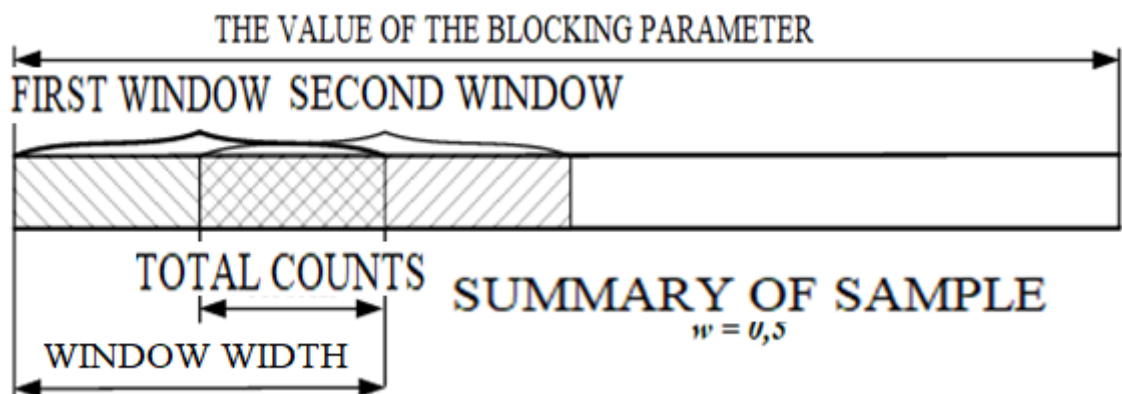


Figure A.2 - Overlapping parameter, application of window analysis of digital signals.

A natural measure of an artificially increasing interval number, over which it is possible to average the correlation function to eliminate random noise, introduces an overlap parameter at the output of the correlator.

The overlap parameter  $w$  ( $0 \leq w \leq 1$ ) indicates the portion of the total count in two different windows with signals in the neighborhood (Figure 2). Therefore, using the overlap, we determine the average set of correlation functions

In tabular form, an effective study of the influence of the overlap factor on the informativeness of the time-frequency correlation function, obtained from analytical actions on 16384 or  $N = 2^{14}$  samples of the original signal, is provided. With a given window width, the Fourier transform is  $2^{12}$  generated in MATLAB (the ratio of signal and noise on the input parameters of the correlator is -20 dB). Information was evaluated using the approach described in [15]

Table A.1. Using the approach

$N_0$	Overlap	Informative
1	$w = 0, K = 4$	1
2	$w = 1/4, K = 5$	1.0211
3	$w = 1/2, K = 7$	1.0792
4	$w = 1/3, K = 13$	1.1(1)

This method is used to improve the quality of analytical actions, overlapping random noise, due to the fact that we increase the amount of computational actions while increasing parameter  $K$ . This condition is based on coherence averaging [12, 15].

#### A 1.4 Continuous signal analysis

Currently implemented digital correlators, the calculation of which is carried out using the discrete Fourier transform, based on the correlations specified in [16] Also, the main parameter for the calculation and affecting the results, the parameter is called the width of the Fourier transform window. The parameter name refers to the counts of the digitized signal, those that are used to calculate the correlation function. Therefore, the width of the window is interpreted by the duration of the signal being simultaneously analyze.

With  $f_d$  called sampling rate and  $T_0$  signal duration.

Note that the initialization of the correlation function is associated with the implementation of large volumes of computational actions, even if the correlation theorem is used [17]. In order to calculate the direct and inverse Fourier transform, fast Fourier transform algorithms are used. A special difference is considered to be the imposition of additional restrictions on the width of the transform window.

Denote  $n > 2$ ,  $n$  - an integer.

As noted earlier, the width of the window affects the effective consideration of the signal and analytic actions, attenuating broadband noise, increasing the quality of the frequency reference in the signal index of the spectrum. At the moment of increasing  $N$ , the number of calculations increases. This is a relevant measure of the applicability of the impact of the width of the window Fourier transforms on the qualitative indicators of analytical measures. Let's assume that with the help of sensors in the period of a given time  $T$ , the instantaneous values of the signal indicators of vibro-acoustics emitted by equidistant sensors  $t = 1 / f_d$  at a given time are recorded.

Therefore, at any instant discrete time  $t_i$  ( $i = 0, 1, \dots, N-1$ ) by  $N$  is meant the total counting number). The alarm indicators fixed by the sensor one, are represented in the form

By  $n_1(i)$  is meant the index of the noise signal coming from sensor number one;  $j_1 = \tau_1 / t$  is the sensor lag signal number one.

The correlation function is calculated as

By  $F$  we mean the DFT;  $F^*$  - representation of the result of the discrete Fourier transform (DFT) in a complex-conjugate form.  $I = 0, 1, \dots, N_0-1$ ;  $N_0 \leq N$ . The visualization of the correlation graph shows the values of the  $r_{12}(j)$  maxima corresponding to

It determines the parametric estimate  $\tau = \tau_2 - \tau_1$ , which is used to determine the location of the defect. An alternative to the correlation analysis method, the part-time function specified in [18] is applied. The method becomes noise-resistant by applying the above approach and increasing computational actions [19]. It also

contributes to obtaining a more visual and convenient surface of the function of time-frequency correlation.

Analytical actions carried out over long-lasting signals by increasing the width of the Fourier transform window require additional methods of noise suppression at the output of the correlator.

Analysis, using correlation and averaging the coherence of the correlation function, is denoted by the expression

When  $K$  is equal to the number of window indices of the fast Fourier transform,  $N_0$  width, represented by a sample of signals

Identical and acceptable implementation is specified in (15)

Note that coherently averaging a segment of the signal in the time domain helps to improve the signal-to-noise ratio when the initial phase coincides.

The following are the resulting indicators of the study of the influence of the Fourier transform window width and the informativeness of the frequency-time correlation functions obtained by analytic actions on 65536 signals. The test signals were generated in MATLAB, the signal-to-noise ratio was -20 dB.

Table A.2. Effect of window width

$N_0$	$N_0$ windowwidth	Informative
1	1024	1.0
2	4096	1.8942
3	16384	3.2701
4	65536	4.8465

Based on the table indicators the conclusion follows:

1) The basis of the choice of the width of the window is the ability of the computing capabilities of the device;

2) In practice, the signal indicators that can be analyzed are represented by thousands of samples (possibly hundreds of thousands) in 10 seconds with a sampling frequency of 44.1 kHz; it is meaningless to choose a window width of 65536.

3) Due to the fact that the window width defines the window capabilities of temporal indicators and frequency, it makes sense to take a width of more than 1024.

### **A 1.5 Properties and characteristics of the complexes for the purpose of search**

Reducing the time interval from the stage of appearance of the outflow of a fluid to the possible localization of its location allows for extremely quick measures to be taken according to the detection of a defect, respectively, costs for correcting negative results that occurred after the outflow of the fluid are reduced. Correlators are used and have several positives, for example [20]: relatively significant accuracy of information that determines the location of the leak, the ability to study straight length of the pipeline network, up to a hundred meters. The constituent components of the search-and-see complex are some devices: a pair of vibroacoustic sensors, a signal processing unit (digital signal processor), and devices required to transfer information between sensors.

The signal from the sensor to the signal processing unit can be transmitted as an analog signal. If it is transmitted over a considerable distance, then the use of prescalers is possible, the digital type of information is also supported. When it is necessary to transmit a digital signal, the wired and wireless communication method is used, which allows to reduce the mass of the set.

A correlation-acoustic leak detector is shown in (Figure A.3) [21].



Figure A.3 - Leak Detectors: а) LEAKFINDER RT; б) TAK 2001; в) AQUASCAN;  
г) Korshun 11 MTA

At the moment, the market is filled with a variety of devices of domestic and imported production, despite looking at similar functionality, with different

configurations, unique operating possibilities and advantages of the structure differ characteristically. The described devices vary in cost, and to resolve a task, a correlator is selected to determine the location of the pipeline leak. Searching complexes of modernity, framed by strict requirements [22].

The main requirements are the accuracy and truth of the localization of the source of the leak signal, the possibility of using in difficult climatic conditions, the possibility of long-term operation without power supply (battery), compact design and minimum weight. Extreme performance indicators are initialized by the device performance and capacitive battery performance can be set in fact or using methodological guidelines.

Also, the approach of estimating the exact search for the location of a leak is not carried out according to the regulations, since the correlator is not a measuring tool complying with the law of the Russian Federation “On ensuring the uniformity of measurements”.

Table A.3. Characteristic indicators of import leak detectors

Name	Manufacturer	Configurations	Features	Value, rub.
LeakFinderRT	EchologicsEnineering, Kanada	Based on PC, wireless	equipment for working with plastic pipelines	1300
AquaScan 610 Laptop	Gutermann AG, Switzerland	Based on PC, wireless	Soundvelocitymeasurement	1400
LC-2500	FUJI TECOM INC., Japan	Based on DSP, wired	assessment of the reliability of the results	900
Correlux P-2	Seba KTM, Germany	Based on DSP, wired	automated filter setup	600
Korshun 11TA	EchoLogicsDisit, Ukrain	Based on DSP, Wireless (wired)	advanced digital spectral analysis capabilities	900

In a tabular form below are the names of the leak detection complexes represented by the Russian market, reflecting the features. A comprehensive description provided by the manufacturing companies, respectively, and links to electronic resources are provided in [23]. Cost and data were obtained from



individual distributors, publicly available informative sources with public procurement, respectively, are not considered accurate.

The extreme is associated with a significant part of the cost of software and the total cost of the complex. The high cost of software specific to a personal computer is justified by the significant abilities of today's computers, applying the tasks of signal processing and creating a visual result.

Table A.4. Characteristic indicators of domestic-made leak detectors

Name	Manufacturer	Configurations	Features	Value, rub.
T 2001 M	INCOTEX, NizhnyNovgorod	Based on DSP, wired	Simple execution, compact, complex analysis only through a PC.	200
ИСКОП 405	TEXNO-AC, Kolomna	Based on DSP, Wireless	Trailfinder	500
TAK 2005	TPU, Tomsk	Based on PS, Wired/Wireless	Implementation of an integrated signal filtering approach	150 (non actually)

Therefore, the signal processing methodologies and the feasibility in software form will determine the resulting signal analysis indicators. Also, the introduction of an original instrumental solution aimed at analytic actions on signals [24] in software can turn out to be competitive.

### **Optimization of coherent function calculations**

The continuous growth of the amount of information being processed and the creation of modern methods for processing a signal that are distinguished by the high requirements for computing resources of a personal computer, is led to the creation of computational technologies, productive use of computer hardware resources. The basic computing power of a modern PC is the central processor, whose productive capacity is firstly determined by the clock frequency [25].

The main way to increase speed came by increasing the clock frequency. In the same period, this led to more noticeable power consumption and heat dissipation in computer technology, which was eliminated by means of a smaller technological procession of microcircuits. But in this period, the interrelation of constraints and,

subsequently, the diminutiveness of the product becomes difficult, as a consequence, the addition of computational nuclear power becomes more in demand [26].

Large data arrays are involved in processing the coherent function, there are approximately four million counting activities that impose new necessary procedures on the computing device when operating in a mode close to real time. There is also a place for the presentation of increased requirements for the temporary restriction of the software.

In digital signal processing, the coherent function is mainly used to determine the frequency band of a static signal, by highlighting the power-law indicators of the linear dependence of signals of different frequencies [26]. Define the coherence function as the denominator of the mutual spectral signal components and the root of the multiplied energy spectrum:

When  $E$  is equal to the averaging operator,  $PAA(k)$  and  $PBB(k)$  are the energy spectra of the signals  $S(A, B)$ . The energy spectrum of the signal can be calculated by the following formula FD - direct discrete Fourier transform.

One can come across different approaches to computing a coherent function, distinguishable by the averaging method of the denominator values. The most common at the moment there is a method of averaging Bartlett [28] reducible to the form.

If you look at the program, the algorithm can be represented by the main loop, which is triggered by a specified execution number (multiple windows calculated earlier). Each iteration selects data that creates the desired width of the window. With the window view, special actions are performed related to the calculation of the spectrum, depending on the calculated functions of coherence. Then, the window parameters are multiplied with the corresponding window function values.

The use of coherent functions requires the use of a large set of computational actions of the discrete Fourier transform. To increase the productive capacity of solutions in computational quality, algorithms are chosen for the fast Fourier calculation of the Cooley-Tukey functions [28] puncturing in the frequency band with a lag constant of two. The use of these algorithmic actions is explained by its

simple implementation, a clear view, and a high degree of internal parallelism [29, 30]. The Example View shows in tabular form the resulting indicators that estimate the fast response of computational activity on a powerful quad-core mobile processor based on twenty-two nanometer Haswell architecture Intel Core i7-4720 HQ.

Table A.5. Indicators that estimate the fast response of computing activity on a powerful quad-core, eight-slot mobile processor

Windowwidth	Sample	Ts, p. * 2 Consistently	Ts, p. * 2 Parallel
$2^{15}$	$2^{19}$	0,4022	0,1435
	$2^{20}$	0,7580	0,2651
	$2^{21}$	1,3918	0,5700
	$2^{22}$	2,5634	1,1216
$2^{16}$	$2^{19}$	0,3773	0,1477
	$2^{20}$	0,8089	0,2706
	$2^{21}$	1,3614	0,5830
	$2^{22}$	2,1811	1,1585
$2^{17}$	$2^{19}$	0,4263	0,1550
	$2^{20}$	0,8688	0,3044
	$2^{21}$	1,6732	0,5778
	$2^{22}$	3,2742	1,1878

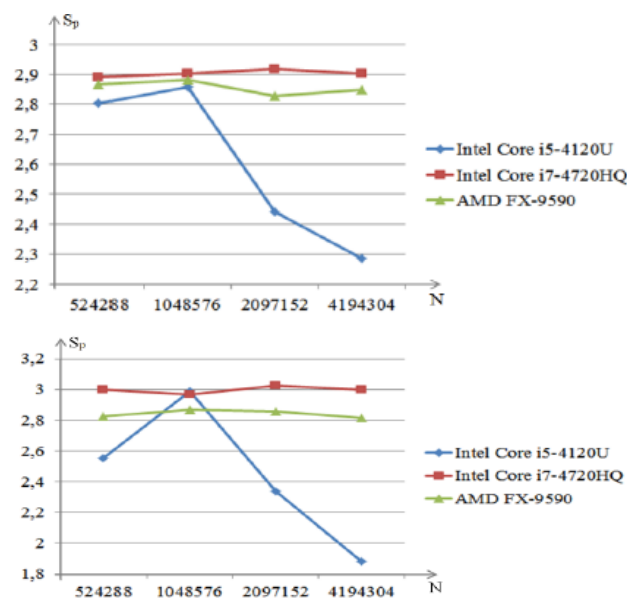


Figure A.4 - Increase speed

The increase in speed depends on the different window widths, as the figure shows. The most appropriate implementation, avoiding a sharp increase in the cost of computing tools, by increasing the efficient use of hardware resources to find coherent functions, introduces parallelism. Currently, computing platforms are personal computers with multi-core central processing units.

## Приложение Б Swot анализ

<b>SWOT анализ</b>	<p><b>Сильная сторона:</b> Объявленная экономия и энергоэффективность технологических процессов.</p> <p>Экологичность технических процессов.</p> <p>Наиболее приемлемая цена изготовления согласно сопоставлению с иными товарами.</p> <p>Высококвалифицированный штат.</p>	<p><b>Слабая сторона:</b> Недостаток у возможных покупателей грамотных кадров.</p> <p>Недостаток инжинирингового обслуживания, направленного на обучение совершения действий труда в рамках проекта. Недостаток требуемого оснащения с целью выполнения проверки квалифицированного образца. Значительный период поставки используемого материала и комплектности, применяемых в проведении академического изучения.</p>
<p><b>Возможность:</b> Применение инноваторской инфраструктуры политехнического университета. Возникновение вспомогательного спроса к новейшему продукту. Сокращение таможенных пошлин в сырьевые материалы, применяемых при исследовательской работы. Увеличение цены конкурентоспособных исследований.</p>	<p>Создание течепойского продукта, имеющего наиболее значительные качественные показатели, сравнивая с имеющимися рыночными (наиболее значительная надежность и быстрый отклик). С целью создания конкурентоспособного изделия удовлетворяющего ценой, высококачественное.</p>	<p>Увеличение квалификации сотрудников у возможных потребителей.</p> <p>Формирование инжинирингового обслуживания с целью проведения трудовых действий с действующим изделием. Получение требуемого оснащения для выполнения проверки квалифицированного образца. Снижение поставок, либо перемена поставщиков.</p>
<p><b>Угроза:</b> Недостаток спроса в новейших технологических процессах производства.</p> <p>Сформированная конкурентная борьба технологического производства. Внедрение добавочных муниципальных условий к сертификации продукта.</p>	<p>Развитие проекта, нацеленного на формирование спроса. Формирование конкурентоспособных положительных сторон разработанного продукта.</p> <p>Сертификация и унификация изделия.</p>	<p>Увеличение квалифицированных сотрудников у возможных потребителей.</p> <p>Формирование инжинирингового обслуживания нацеленного на преподавание труда с созданным продуктом. Получение требуемого оснащения с целью выполнения проверки квалифицированного образца.</p> <p>Снижение поставок, либо перемена поставщиков. PR компании нацеленное на формирование спроса. Формирование конкурентоспособных положительных сторон созданного продукта. Сертификация и унификация.</p>

## Приложение В Листинг программы

(обязательное)

### Листинг программной части Mathcad, нахождение частотно-временной функции корреляции

Строка вызывающая функцию

```
TF_mdf(Data_IN, Length_IN, St_IN, Size_IN, Wid_IN, Wind_FUN, Sam_Rate_IN, Fil_IN)
```

#### Входные данные

- 1) *Data\_IN* (массив  $M \times 2$ ) – содержащей отсчеты сигналов, извлекается из wav-файла (должен содержать два канала).  $M$  – количество отсчетов, содержащихся в файле.
- 2) *Length\_IN* (вещественное) – длительность анализируемого фрагмента сигнала (в секундах). В случае, если длительность файла (при заданной частоте дискретизации *Sam\_Rate\_IN*) меньше, чем *Length\_IN* будет использоваться вся длительность файла).
- 3) *St\_IN* (целое) – нахождение анализируемого фрагмента сигнала относительно начала файла (в блоках, содержащих *Size\_IN* отсчетов). В случае, если при имеющейся длительности файла, с выбранным *St\_IN* не удастся обеспечить заданной длительности анализируемого фрагмента *Length\_IN*, то вместо *St\_IN* выбирается минимальное возможное значение.
- 4) *Size\_IN* (целое) – используемая ширина окна быстрого преобразования Фурье;
- 5) *Wid\_IN* (вещественное) – ширина частотного интервала (в Гц). При вычислении будет использоваться ближайшее к *Wid\_IN* значение, для обеспечения равной ширины частотных интервалов;
- 6) *Wind\_FUN* (функция) – используется оконная функция. Заданная в следующем виде: *function(i,N)*, где  $i$  – аргумент функции,  $N$  – оконная ширина.

- 7) *Sam\_Rate\_IN*(целое) – частота дискретизации сигнала. Значение данной переменной может быть получена при чтении wav-файла;
- 8) *Fil\_IN*(массив  $F \times 2$ ) – Настройка полосового фильтра.  $F$  – количество полос, в которых производится фильтрация (пропускание сигнала). Первый столбец в массиве – нижние границы соответствующих полос, второй столбец – верхние границы полос.

### **Выходные данные**

Выходфункции – массив, имеющий значения отсчетов ЧВКФ. Размерностью –  $M \times Size\_IN$ , где  $M$  – итого частотных интервалов  $M = round(Sam\_Rate\_IN/2 \cdot Wid\_IN)$ . Каждое значение в массиве берется по модулю и нормируется максимальным значением, то есть лежат в диапазоне  $[0..1]$ .